

PABLO FERNANDO SANCHEZ

**MAPEAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL E PREVISÃO DE PRESSÕES
PIEZOMÉTRICAS EM MACIÇOS ROCHOSOS DE FUNDAÇÕES DE GRANDES
BARRAGENS – ESTUDO DE CASO DE ITAIPU**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Área de Concentração Geotecnia, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil - Geotecnia.

Orientadora: Prof^a Dra. Eng. Andrea Sell Dyminski

CURITIBA

2009

TERMO DE APROVAÇÃO

PABLO FERNANDO SANCHEZ

MAPEAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL E PREVISÃO DE PRESSÕES PIEZOMÉTRICAS EM MACIÇOS ROCHOSOS DE FUNDAÇÕES DE GRANDES BARRAGENS – ESTUDO DE CASO DE ITAIPU

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Sell Dyminski (Doutorado PUC - RJ)
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFPR.

Prof. Dr. Ney Augusto Nascimento (Doutorado University of New
México, USA)
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR.

Prof^a. Dr^a. Christianne de Lyra Nogueira (Doutorado PUC - RJ)
Departamento de Engenharia de Minas – Universidade Federal
de Ouro Preto-MG.

Eng. Claudio Issamy Osako (Mestrado PPGCC - UFPR)
Itaipu Binacional – Foz do Iguaçu - PR

Curitiba, 17 de abril de 2009.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cesar e Ana, por todo o apoio e incentivo.

A professora Andrea Sell Dyminski, pela orientação e ensinamentos transmitidos no desenvolvimento deste trabalho.

Ao engenheiro Cláudio Osako pelas orientações ao longo do trabalho.

Aos professores Eduardo P. Ribeiro e Paulo J. Ribeiro Jr pelos ensinamentos em redes neurais e geoestatística.

Aos colegas de mestrado Neile, Bianca, Luis e Charles, em especial a Neile que participou de grande parte deste trabalho.

Aos colegas de projeto Maiko e Rosangela, em especial ao Maiko por toda a ajuda em redes neurais e geoestatística.

Aos professores do PPGCC e PPGMNE, por todo o ensinamento.

As secretárias Ziza e Maristela, pelos ótimos serviços prestados.

Ao CEASB – Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens do PTI – Parque Tecnológico de Itaipu, pela concessão da bolsa de mestrado.

À FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, pelo financiamento do projeto AIEVC – Análise de incertezas e estimação de valores de controle para o sistema de monitoração geotécnico-estrutural na barragem de Itaipu, Edital CT-HIDRO – Segurança de Barragens, no qual se insere este trabalho.

RESUMO

Perfis geológicos formados pela sobreposição de diferentes derrames basálticos são encontrados em diversas regiões do Brasil e do mundo. Diversas estruturas de grande porte encontram-se sobre este tipo de maciço, entre as quais se destacam algumas hidrelétricas. A compreensão das pressões exercidas pela água nestes maciços e seu monitoramento constante são fundamentais para se garantir a segurança deste tipo de obra. Levando-se em conta os fatores decorrentes da evolução da engenharia e do envelhecimento das obras, torna-se eminente a reavaliação de diversos aspectos relativos à segurança das barragens, sendo que o sistema de instrumentação de auscultação das estruturas tem papel fundamental no monitoramento das mesmas. O objetivo deste estudo é desenvolver e aplicar metodologias, baseadas em redes neurais artificiais (RNA's) e geoestatística, para a análise de leituras de instrumentos de auscultação de grandes obras de engenharia civil, visando um melhor entendimento da distribuição espacial e espaço-temporal das mesmas. Para tal, foram usados dados de piezometria da barragem de Itaipu, avaliando-se leituras em diferentes regiões do maciço de fundação, procurando desta forma identificar as áreas mais críticas daquele sítio. Técnicas de interpolação baseadas em RNA's e geoestatística foram utilizadas para o mapeamento espacial e espaço-temporal dos níveis piezométricos de Itaipu. Mapas piezométricos foram confeccionados para diferentes instantes, mostrando a distribuição espacial de subpressões no maciço. Também foi realizada uma comparação entre as duas técnicas para o mapeamento dos níveis piezométricos, mostrando as potencialidades e limitações dessas técnicas. As redes neurais artificiais de arquitetura simples foram capazes de mapear satisfatoriamente a distribuição espacial e espaço-temporal dos níveis piezométricos. A análise por geoestatística mostrou ser capaz de reconhecer tendências das leituras dos instrumentos ao longo do tempo. Os mapas gerados pelas duas técnicas permitiram a visualização e identificação das regiões que apresentam maior variação de subpressões, sendo estas regiões de grande interesse geotécnico. Desta forma, os modelos de predição de leituras e o mapeamento de níveis piezométricos consistem numa útil ferramenta de diagnóstico de mudanças de comportamento da barragem, de suas estruturas anexas e do maciço de fundação. Assim, podem ser incorporados aos sistemas de apoio à decisão relacionados à segurança de barragens, aumentando a eficiência e a velocidade de ações no processo de tomada de medidas mitigadoras de problemas nesse tipo de obra de engenharia.

Palavras-chave: Segurança de Barragens. Instrumentação Geotécnica. Mapeamento Geotécnico. Redes Neurais Artificiais.

ABSTRACT

Geological profiles formed by overlapping of different basaltic spills are found in several regions of Brazil and the world. Several large structures are found on this kind of massive, among which some hydroelectric plants are detached. The understanding of pressure exerted by water in this massive and your constant monitoring are essential to ensure the safety of this type of work. Taking into account the factors arising from the engineering development and the work aging, becomes imminent the re-evaluation de several relative aspects to the dam safety, and the auscultation instrumentation system of structures has a fundamental function in your monitoring. The objective of this study is develop and apply methodologies, based on artificial neural networks (ANN's) and geoestatics, for the analysis of auscultation instrument readings of civil engineering major works, to a better understanding of your spatial and spatial-temporal distribution. For this, were used piezometric data of Itaipu dam, evaluating readings in different regions of massive foundation, looking identify the site most critical area. Interpolation techniques based on ANN's and geoestatics were used for the spatial and spatial-temporal mapping of Itaipu piezometric levels. Piezometric maps were prepared for different instants, showing the uplift spatial distribution in massive. Also was performed a comparison between the two techniques for the piezometrics levels mapping, showing the potential and limitations of this techniques. The artificial neural networks with simple architecture were able to map satisfactorily the spatial and spatial-temporal distribution of piezometric levels. The analysis by geostatistics showed to be able for recognize trends of instrument readings over time. The maps generated by two techniques allowed the visualization and identification of regions that present greater uplift variation, and these regions of geotechnical interest. Thus, the readings prediction models and the piezometric levels mapping consist in a diagnosis useful tool of changes to dam behavior, structures attached and massive foundation. Thus, they can be embedded to decisions support systems related to dam safety, increasing the efficiency and speed of action in taking process of problems mitigating measures in this kind of engineering work.

Keywords: Dam Safety. Geotechnical Instrumentation. Geotechnical Mapping. Artificial Neural Networks.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA DE PIEZÔMETRO DE TUBO ABERTO.....	25
FIGURA 2 – PIEZÔMETRO STANDPIPE DE ITAIPU.....	26
FIGURA 3 – MODELO DE UM NEURÔNIO ARTIFICIAL.....	29
FIGURA 4 – EXEMPLO DE REDE NEURAL MULTI-LAYER FEEDFORWARD.....	31
FIGURA 5 – PLANTA DO COMPLEXO DE ITAIPU.....	36
FIGURA 6 – DERRAMES “A” a “E” DO PERFIL BASÁLTICO DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO DE ITAIPU.....	36
FIGURA 7 – LEITURAS DO PIEZÔMETRO PSF121.....	37
FIGURA 8 – SUBPRESSÃO COM DUAS LINHAS DE DRENOS E DUAS CORTINAS DE INJEÇÃO.....	38
FIGURA 9 – PLANTA DO TRECHO DE ESTUDO, APRESENTANDO A LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÔMETROS.....	39
FIGURA 10 – EXEMPLO DE PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE ITAIPU.....	40
FIGURA 11 – TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO DOS EIXOS LOCAIS (O.L.) PARA GLOBAL (O.G.).....	42
FIGURA 12 – DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS 1 E 2 DO TRECHO ESTUDADO.....	43
FIGURA 13 – REGIÕES 1 A 4.....	44
FIGURA 14 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 1.....	47
FIGURA 15 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 1a.....	49
FIGURA 16 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 2.....	49
FIGURA 17 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 3.....	50
FIGURA 18 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 4.....	51
FIGURA 19 – LEITURAS DOS PIEZÔMETROS PSF33 E PSF36.....	52
FIGURA 20 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 5.....	53
FIGURA 21 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 6.....	53
FIGURA 22 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 7.....	54
FIGURA 23 – DADOS REAIS X MODELOS 2,3 E 4 – PSF32.....	61
FIGURA 24 – DADOS REAIS X MODELOS 5,6 E 7 – PSF32.....	63
FIGURA 25 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSF65.....	66
FIGURA 26 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSF65.....	68
FIGURA 27 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSF113.....	70
FIGURA 28 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSF113.....	72
FIGURA 29 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSU16.....	74
FIGURA 30 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSU16.....	76
FIGURA 31 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 e 4 – PSU67.....	79
FIGURA 32 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSU67.....	81
FIGURA 33 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSH51.....	83
FIGURA 34 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSH51.....	85
FIGURA 35 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – ABRIL/00.....	87
FIGURA 36 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – AGO/00.....	87
FIGURA 37 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – SET/00.....	90
FIGURA 38 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – JAN/01.....	90
FIGURA 39 – PERFIL DO CONTATO A/B.....	91
FIGURA 40 – NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS – ABRIL/00.....	92
FIGURA 41 – PREDIÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS – ABRIL/00.....	92
FIGURA 42 – COTA E NÍVEL PIEZOMÉTRICO DOS INSTRUMENTOS.....	92
FIGURA 43 – COTA E NÍVEL PIEZOMÉTRICO DA PREDIÇÃO.....	93
FIGURA 44 – NÍVEL PIEZOMÉTRICO DOS INSTRUMENTOS E PREDIÇÃO.....	93
FIGURA 45 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS OBTIDO POR GEOESTATÍSTICA – SETEMBRO DE 2000.....	94
FIGURA 46 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS OBTIDO POR GEOESTATÍSTICA – JANEIRO DE 2001.....	95
FIGURA 47 – EXEMPLO DE MAPA DE GRADIENTE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS OBTIDO POR GEOESTATÍSTICA – AGOSTO/SETEMBRO DE 2000.....	95

FIGURA 48 – DADOS REAIS X MODELOS 1, 1a E 8 – PSF64.....	97
FIGURA 49 – DADOS REAIS X MODELOS 1, 1a E 8 – PSF75.....	98
FIGURA 50 – DADOS REAIS X MODELOS 1, 1a E 8 – PSU19.....	99

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – NÚMERO DE GRANDES BARRAGENS NO MUNDO.....	13
QUADRO 2 – EXEMPLO DE PLANILHA DO BANCO DE DADOS.....	41
QUADRO 3 – EXEMPLO DO BANCO DE DADOS.....	42
QUADRO 4 - INSTRUMENTOS EXISTENTES NA ÁREA 1, CONTATO A/B.....	46
QUADRO 5 – REPRESENTAÇÃO DA VARIÁVEL REGIÃO, USADA COMO ENTRADA.....	47
QUADRO 6 – EXEMPLO DE DADOS DE ENTRADA E SAÍDA.....	48
QUADRO 7 – INFORMAÇÕES DAS ÁREAS ESTUDADAS.....	55
QUADRO 8 – PARÂMETROS DE ENTRADA E SAÍDA UTILIZADOS NOS MODELOS AVALIADOS.....	56
QUADRO 9 – PLANILHA DE ERROS MOSTRANDO A ESCOLHA DO NÚMERO DENEURÔNIOS (EXEMPLO COM O INSTRUMENTO DE TESTE PSF64).....	58
QUADRO 10 – MELHOR ARQUITETURA DE REDE PARA MODELO 1.....	58
QUADRO 11 – MELHOR ARQUITETURA DE REDE PARA MODELO 1a.....	58
QUADRO 12 – MELHOR ARQUITETURA DE REDE, PARA CADA MODELO E INSTRUMENTO DE TESTE, DESENVOLVIDA PARA ÁREA 2.....	59
QUADRO 13 – RESULTADOS DOS MODELOS 2,3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSF32.....	60
QUADRO 14 – RESULTADOS DOS MODELOS 5,6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSF32.....	62
QUADRO 15 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSF65.....	65
QUADRO 16 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSF65.....	67
QUADRO 17 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSF113.....	69
QUADRO 18 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSF113.....	71
QUADRO 19 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSU16.....	73
QUADRO 20 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSU16.....	75
QUADRO 21 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSU67.....	78
QUADRO 22 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSU67.....	80
QUADRO 23 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSH51.....	82
QUADRO 24 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSH51.....	84
QUADRO 25 – RESULTADOS DOS MODELOS 1, 1a E 8 DO PIEZÔMETRO PSF64.....	97
QUADRO 26 – RESULTADOS DOS MODELOS 1, 1a E 8 DO PIEZÔMETRO PSF75.....	98
QUADRO 27 – RESULTADOS DOS MODELOS 1, 1a E 8 DO PIEZÔMETRO PSU19.....	99

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivos específicos	11
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.2.1 Tecnológica	13
1.2.2 Ambiental	15
1.2.3 Econômica	15
1.2.4 Social	16
1.3 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 SEGURANÇA DE BARRAGENS	18
2.2 INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA E A SEGURANÇA DE BARRAGENS	20
2.2.1 Piezômetros	24
2.2.1.1 Piezômetro de tubo aberto (<i>Standpipe</i>)	25
2.3 MAPEAMENTO DE VARIÁVEIS GEOTÉCNICAS	27
2.3.1 Redes Neurais Artificiais	29
2.3.1.1 Arquitetura da rede	31
2.3.2 Geoestatística	32
2.3.2.1 Aspectos Gerais	32
2.3.2.2 Krigagem	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 DADOS UTILIZADOS – USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU	35
3.1.1 Usina Hidrelétrica de Itaipu	35
3.1.2 Dados de auscultação usados no estudo	37
3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	40
3.3 MAPEAMENTO DAS SUBPRESSÕES	44
3.3.1 Redes Neurais Artificiais	44
3.3.1.1 Modelo 1	46
3.3.1.2 Modelo 1a	48
3.3.1.3 Modelo 2	49
3.3.1.4 Modelo 3	50
3.3.1.5 Modelo 4	51
3.3.1.6 Modelo 5	52
3.3.1.7 Modelo 6	53
3.3.1.8 Modelo 7	54
3.3.2 Geoestatística	54
3.3.2.1 Modelo 8	54
3.3.3 Resumo dos modelos realizados	55
4 RESULTADOS	57
4.1 REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS	57
4.1.1 Arquitetura da rede	57
4.1.2 Mapeamento das subpressões da Área 2.	59
4.1.2.1 Piezômetro PSF32	60
4.1.2.2 Piezômetro PSF65	65
4.1.2.3 Piezômetro PSF113	69
4.1.2.4 Piezômetro PSU16	73

4.1.2.5 Piezômetro PSU67.....	78
4.1.2.6 Piezômetro PSH51.....	82
4.1.2.7 Exemplos de mapas piezométricos para a Área 2	86
4.1.2.8 Discussão dos resultados dos modelos 2 a 7	88
4.1.3 Mapeamento das subpressões da Área 1.	89
4.1.3.1 Mapas por redes neurais	89
4.2 GEOESTATÍSTICA.....	93
4.2.1 Mapas por geoestatística.....	94
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS E GEOESTATÍSTICA....	96
4.3.1 Piezômetro PSF64	97
4.3.2 Piezômetro PSF75	98
4.3.3 Piezômetro PSU19.....	99
4.3.4 Análise da comparação entre as duas técnicas	100
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101
5.1 CONCLUSÕES.....	101
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICES	109
ANEXOS	158

1 INTRODUÇÃO

Perfis geológicos formados pela sobreposição de diferentes derrames basálticos são encontrados em diversas regiões do Brasil e do mundo. São caracterizados por diferentes estruturas geológicas, que em geral apresentam-se no contato entre derrames, como por exemplo, brechas, juntas e outros tipos de descontinuidades. Diversas estruturas de grande porte encontram-se sobre este tipo de maciço, entre as quais se destacam algumas hidrelétricas. A compreensão da condutividade hidráulica destes maciços e seu monitoramento constante são fundamentais para se garantir a segurança deste tipo de obra.

No caso particular de uma barragem e seu maciço de fundação, o envelhecimento e a intemperização das camadas geológicas podem agravar o problema de percolação e de degradação da rocha por pressão interna nas cavidades abertas das fissuras e demais descontinuidades. Outro fator a se observar é o fato de que os processos físico-químicos nas estruturas são variáveis no tempo.

Levando-se em conta os fatores decorrentes da evolução da engenharia e do envelhecimento das obras, torna-se eminente a reavaliação de diversos aspectos relativos à segurança das barragens, sendo que o sistema de instrumentação de auscultação das estruturas tem papel fundamental no monitoramento das mesmas (SILVEIRA, 2003).

Valores de controle das leituras dos instrumentos são usados para avaliação do desempenho e segurança das estruturas e de suas fundações. A comparação desses valores com os medidos pela instrumentação instalada é feita para se detectar possíveis desvios de comportamento, que podem ser indicadores de possíveis anomalias estruturais. Os valores de controle estabelecidos na fase do Projeto Executivo das estruturas têm validade para acompanhamento da fase de enchimento e primeiros anos de operação do reservatório, pois foram estabelecidos com base em coeficientes de segurança e hipóteses conservadoras, resultando em valores bem superiores aos valores normalmente medidos. Decorridos alguns anos após o enchimento do reservatório, as leituras dos instrumentos tendem a uma estabilização, e a partir desse momento novos valores de controle devem ser estabelecidos a partir das suas próprias medições. (GUTIÉRREZ, 2003).

Através de modelos de representação e previsão do comportamento esperado das estruturas e suas fundações, pode-se alimentar sistemas especialistas de auxílio na interpretação do desempenho e segurança de barragens, permitindo identificar os instrumentos cujas medições apresentam caráter “normal”, ou seja, estão em conformidade com os valores esperados, e separá-los daqueles com medições consideradas “anormais”, ou seja, afastadas das que seriam esperadas (CARVALHO, 2005). Estes últimos representam a minoria dos instrumentos, de modo que se pode otimizar o tempo da equipe responsável pela avaliação dos resultados da instrumentação para avaliação e análise das medições que eventualmente indiquem comportamento anômalo das estruturas.

Este trabalho trata-se de um estudo de caso, onde, para se poder avaliar a metodologia proposta, tendo-se como base dados reais de instrumentação, tomou-se a barragem de Itaipu como exemplo de aplicação das técnicas que foram desenvolvidas para análise de dados de leituras de sistemas de auscultação de grandes obras de engenharia.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é desenvolver e aplicar metodologias, baseadas em redes neurais artificiais e geoestatística, para a análise de leituras de instrumentos de auscultação de grandes obras de engenharia civil, visando um melhor entendimento da distribuição espacial e espaço-temporal das mesmas. Para tal, foram usados dados de piezometria da barragem de Itaipu, avaliando-se leituras em cada região do maciço de fundação, procurando desta forma identificar as áreas mais críticas da estrutura.

1.1.1 Objetivos específicos

- Entendimento e organização dos dados:

O contínuo monitoramento do comportamento das estruturas e fundações de grandes obras gera uma enorme quantidade de dados. Estas informações nem

sempre encontram-se organizadas de maneira a serem facilmente utilizadas em programas computacionais de visualização ou análise de dados.

No caso da barragem de Itaipu, este fato também ocorria. A barragem tem sido acompanhada através de um Sistema de Auscultação, composto por 2300 instrumentos instalados ao longo da barragem. Estes instrumentos são de diversos tipos, entre eles: piezômetros, extensômetros de haste, medidores triortogonais, medidores de nível d'água, medidores de vazão e drenos.

Desta forma, os dados dos instrumentos necessários para o presente estudo devem ser organizados, fazendo a correspondência entre informações de projeto e dos relatórios de leituras periódicas, tendo como foco principal os piezômetros instalados no maciço de fundação, utilizando-se seus dados de posicionamento e as leituras piezométricas, que ocorrem periodicamente desde 1980.

- Mapeamento espacial e espaço-temporal da piezometria, por feição e também tridimensional.

Neste trabalho, é proposto o uso de diferentes técnicas de interpolação dos dados espaciais para o mapeamento dos níveis piezométricos de Itaipu, envolvendo principalmente as técnicas de Redes Neurais Artificiais (RNA's) e Geoestatística. Mapas piezométricos devem ser confeccionados para diferentes instantes, ou seja, para datas específicas, mostrando a distribuição espacial de subpressões no maciço. Esta etapa do estudo conta com a utilização dos programas computacionais MatLab (MATLAB, 2004) e R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2006).

- Comparação entre as técnicas de redes neurais artificiais e geoestatística

Em uma área específica da barragem, foi realizada uma comparação entre as duas técnicas, RNA's e Geoestatística, para o mapeamento bidimensional dos níveis piezométricos, mostrando as potencialidades e limitações dessas técnicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

1.2.1 Tecnológica

De acordo com a ICOLD (*International Commission of Large Dams*), uma grande barragem tem altura igual ou superior a 15 metros (contados do alicerce). Se a barragem tiver entre 5 e 15 m de altura e seu reservatório tiver capacidade superior a 3 milhões de m³, também é classificada como grande. Tomando por base esta definição, existem hoje mais de 45.000 grandes barragens em todo o mundo. Os cinco países onde mais se construíram barragens (Quadro 1) são responsáveis por mais de três quartos de todas as grandes barragens em todo o mundo, sendo que cerca de dois terços de todas as grandes barragens do mundo estão localizadas em países em desenvolvimento. A energia hidrelétrica é responsável por mais de 90% da produção total de eletricidade em 24 países, entre eles o Brasil (ICOLD, 2006).

Número de grandes barragens no mundo, por país		
China		46%
Estados Unidos		14%
Índia		9%
Japão		6%
Espanha		3%
<i>Outros:</i>		23%
	Outros	16%
	Canadá	2%
	Coreia do Sul	2%
	Turquia	1%
	Brasil	1%
	França	1%

QUADRO 1 – NÚMERO DE GRANDES BARRAGENS NO MUNDO
 FONTE: ADAPTADO DE ICOLD (2006)

Garantir a segurança destas barragens é primordial, sendo que esta tarefa irá exigir cada vez mais atenção e investimentos, pois as barragens estão envelhecendo e os custos de manutenção aumentando.

Após a fase de projeto, deve ser introduzido um processo abrangente de monitoramento e avaliação da barragem. Deve-se igualmente criar um sistema a longo prazo para rever periodicamente o desempenho, os benefícios e os impactos de todas as grandes barragens existentes (CMB, 2000).

A previsão do comportamento real de uma obra é algo muito complexo e de difícil acerto. Em consequência, não se consegue garantir se a estrutura permanecerá totalmente íntegra quando entrar em funcionamento e durante sua operação. Naquelas que apresentam certo grau de danificação, torna-se importante avaliar se, nas condições de serviço, a estrutura possuirá reservas de resistência e de segurança para ser operada normalmente (CARVALHO, 2005).

Devido ao seu envelhecimento, a estrutura pode ter modificadas sua rigidez e a capacidade resistente, alterando o seu comportamento. Essa mudança de comportamento pode também afetar seu desempenho e durabilidade. Estruturas danificadas tendem a sofrer mais com variações térmicas, com recalques diferenciais, com vibrações, etc. No caso particular de uma barragem, o envelhecimento pode agravar o problema de percolação e de degradação do concreto por pressão interna nas cavidades abertas das fissuras. Outro fator a se observar são os processos físico-químicos nas estruturas variáveis no tempo. Levando-se em conta todos estes fatores decorrentes da evolução da engenharia e do envelhecimento das obras, torna-se eminente a reavaliação de diversos aspectos relativos à segurança das mesmas. O sistema de auscultação das estruturas tem papel fundamental no monitoramento da segurança da barragem (AIEVC, 2005).

A instrumentação em um maciço de fundação só poderá ser eficiente para conhecimento do comportamento das subpressões se existirem modelos matemáticos e hipóteses para interpretação dos resultados. Se assim não for, todas as informações que os piezômetros fornecerem serão vistas apenas como valores pontuais da subpressão e nunca como uma informação comprobatória de um determinado comportamento esperado (OSAKO, 2002).

O mapeamento de níveis piezométricos facilita a visualização e identificação das regiões que apresentaram maior variação de subpressões (ANDRAOS *et al*, 2008). Desta forma, este trabalho deverá contribuir facilitando a visualização destes

dados e identificação de regiões de interesse, auxiliando no processo decisório da equipe responsável pela segurança da barragem.

1.2.2 Ambiental

Em uma barragem, a evolução não controlada de incidentes pode levar à ruptura de um ou mais componentes estruturais, podendo originar uma onda de inundação, com enormes prejuízos para o meio ambiente.

Segundo Duarte (2006), as obras de engenharia de grande porte comportam certo risco geológico, os quais podem acarretar a ruína parcial ou total das estruturas componentes da obra, com prejuízos para o empreendimento, meio-ambiente e para as comunidades vizinhas.

Assim sendo, é importante garantir o adequado comportamento da obra, bem como a rápida detecção de anomalias, evitando-se a ocorrência de acidentes.

1.2.3 Econômica

O mundo atual depende, para seu funcionamento, muito fortemente do abastecimento de vetores energéticos modernos que são o petróleo, o gás natural, o carvão, a energia nuclear e a hidroeletricidade. Essas fontes são responsáveis por 90% do abastecimento energético mundial (MIGUEL, 2006).

Um terço dos países do mundo depende de usinas hidrelétricas para produzir mais da metade da sua eletricidade. As grandes barragens geram 19% de toda a eletricidade do mundo. As represas têm sido promovidas como um importante meio de atender a necessidades percebidas de água e energia e como investimentos estratégicos de longo prazo capazes de oferecer múltiplos benefícios. Alguns desses benefícios adicionais são típicos de todos os grandes projetos de infra-estrutura, enquanto outros são exclusivos das barragens e específicos de determinados projetos (CMB, 2000).

Existe uma correlação praticamente linear entre o produto de uma nação industrializada e o uso da energia. Assim, pode-se dizer que o uso da energia é um dos fatores determinantes da atividade econômica (FERREIRA, 2006).

Portanto, verificar a segurança de grandes barragens, assegurando sua correta operação, é fundamental para o suprimento da energia elétrica, dando base para o bom desenvolvimento das atividades econômicas dos países.

Além disso, o custo para a correção das consequências de grandes acidentes envolvendo barragens é enorme, onerando fortemente as empresas responsáveis, sejam elas estatais ou particulares.

1.2.4 Social

As represas têm sido promovidas como um importante meio de atender as necessidades percebidas de água e energia e como investimentos estratégicos de longo prazo capazes de oferecer inúmeros benefícios. Desenvolvimento regional, geração de empregos e fomento para uma base industrial com potencial exportador costumam ser citados como motivos adicionais para a construção de grandes barragens. Outras metas incluem a geração de renda advinda de exportações, seja através da venda direta de eletricidade, de produtos agrícolas ou de produtos processados por indústrias eletro intensivas. Claramente, as barragens desempenham um papel importante em atender as necessidades da sociedade (DIBIAGIO, 2000).

Os enormes investimentos envolvidos e os impactos gerados pelas grandes barragens provocam conflitos acerca da localização e interferência dessas construções, tanto das já existentes como das que ainda estão em fase de projeto, tornando-se atualmente uma das questões mais controvertidas na área do desenvolvimento sustentável. Os partidários das barragens apontam para as necessidades de desenvolvimento social e econômico que as barragens visam satisfazer, como a irrigação, a geração de eletricidade, o controle de inundações e o fornecimento de água potável. O ICOLD concluiu que o "fim" pretendido por todo projeto deve ser a melhoria sustentável do bem-estar humano. Isso significa promover um avanço significativo no desenvolvimento humano em uma base que

seja economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente sustentável. Se uma grande barragem for a melhor maneira de atingir tal meta, ela merece ser apoiada (ICOLD, 2006).

Assim, garantir o bom funcionamento da barragem é assegurar que esta meta seja alcançada durante todo o ciclo de vida desta obra.

1.3 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está sendo apresentado sob forma de 5 capítulos.

No capítulo 1, são apresentados os objetivos desta dissertação, bem como as justificativas tecnológicas, ambientais, econômicas e sociais que baseiam o desenvolvimento das mesmas.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre segurança de barragens, instrumentação e a segurança de barragens, bem como as técnicas matemáticas usadas no mapeamento de variáveis geotécnicas, definindo os conceitos sobre geoestatística e redes neurais artificiais.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia adotada neste trabalho, mostrando as principais características da barragem de Itaipu e os dados que foram utilizados, tais como localização e leituras de instrumentos. Mostra como os métodos, geoestatística e redes neurais artificiais, estão sendo aplicados para o mapeamento das subpressões no maciço de fundação da barragem.

O capítulo 4 mostra os resultados que foram alcançados através da metodologia proposta.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões dos resultados obtidos, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SEGURANÇA DE BARRAGENS

Barragens são concebidas com a finalidade de trazer grandes benefícios à sociedade. Espera-se que a construção, operação e eventual desativação das mesmas aconteçam de forma segura, apesar das condições potencialmente severas impostas pela criação da estrutura de contenção e a formação do reservatório. A ruptura de uma barragem pode causar grande destruição, com perda de vidas humanas, danos ambientais e enormes prejuízos materiais. Desta forma, o projeto seguro, a construção adequada e a correta operação de barragens é uma preocupação de âmbito mundial (AIEVC, 2005).

Os principais tipos de acidentes que ocorrem em barragens, são o galgamento, a erosão interna e os sismos. O galgamento é a situação onde o nível de água do reservatório sobe muito e provoca a passagem da água por cima do topo da estrutura da barragem, de montante para jusante. A erosão interna é a formação de vazios no interior de solo ou rocha mole, causada por efeito mecânico ou químico, de remoção de material, por percolação. Também é conhecida como *piping*, que é o desenvolvimento progressivo da erosão tubular interna por percolação, surgindo a jusante, na forma de cavidade descarregando água turva, por carreamento (CARDIA, 2004).

Com a evolução das ciências e o aparecimento de novas tecnologias, em especial na área de engenharia, os projetos de barragens foram se tornando cada vez maiores e mais ousados, com a construção de obras de grande porte. Desta forma, em 1928, foi criado o ICOLD – *International Commission on Large Dams*, uma instituição não governamental que visa promover um fórum permanente de discussão e troca de conhecimento e experiências entre profissionais do mundo todo a respeito de engenharia de barragens. Atualmente, o ICOLD têm Comitês Nacionais em 83 países, incluindo o Brasil, onde é representado pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB). Desde a década de 60, dentre os temas de maior ênfase que o ICOLD tem abordado encontram-se a segurança de barragens, o seu monitoramento, reanálise da estabilidade de obras antigas, estudo

de efeitos de envelhecimento e impactos ambientais gerados por barragens (ICOLD, 2006).

No Brasil, diretrizes visando a segurança de barragens foram publicadas pelo CBGB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – em 1983 (CBGB, 1983). Atualmente, encontra-se em tramitação pelo Congresso Nacional o Projeto de Lei no. 1181/2003, que estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais.

Pode-se dizer que o crescente interesse pelo tema segurança de barragens e avaliação de riscos tem ocorrido devido diversos fatores, entre eles alguns citados por Cardia (2004):

- o envelhecimento das barragens, não satisfazendo as condições de fluxo correntes, critérios sísmicos e os procedimentos atuais de engenharia;
- o desenvolvimento de comunidades e de atividades a jusante das barragens combinado com o aumento das expectativas da sociedade por medidas de proteção às intempéries naturais e riscos gerados pelo homem;
- a ênfase em justificar gastos, mostrando a relação custo-benefício da aplicação de recursos públicos, adotado pelo Governo;
- pressões sobre as corporações para melhora de desempenho, incluindo aí as empresas responsáveis por barragens.

Para se projetar uma barragem dita segura ou se tentar estimar o quão segura é uma barragem, são necessários diversos estudos envolvendo, por exemplo: a caracterização geológico-geotécnica do local de implantação da obra; a análise hidrológica da região, em especial no que diz respeito a inundações; avaliação das conseqüências sócio-econômico-ambientais da construção e operação da barragem; acompanhamento dos dados de instrumentos de monitoração; cálculo da probabilidade da ocorrência de eventos extremos; e cálculo da probabilidade da ruptura da barragem, incluindo aí o modo de ruptura, a probabilidade de ocorrência e suas conseqüências. Desta forma, pode-se encontrar um valor estimado para o risco de ruptura da barragem, que deve ser comparado ao risco tolerável pela mesma. Uma descrição detalhada do processo de avaliação de riscos em barragens pode ser encontrada em (B.C.HYDRO, 1995).

A equipe responsável pela segura operação de uma barragem tem a função de gerenciar os riscos que envolvem a mesma, procurando sempre que o valor estimado para o risco seja menor que o valor de risco tolerável pela obra. Este gerenciamento de risco tolerável pode ser realizado com o auxílio de sistemas de tomada de decisão, que devem levar em conta os muitos aspectos envolvidos no funcionamento da barragem. Em geral, estes sistemas são baseados em informações advindas de inspeções periódicas na barragem e de dados de instrumentos instalados no corpo da mesma e em locais estratégicos da área de influência da obra. A enorme importância do sistema de monitoração de barragens, através de instrumentação adequada, encontra-se bem descrita e enfatizada em Dibiagio (2000).

2.2 INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA E A SEGURANÇA DE BARRAGENS

Os principais meios de que o engenheiro dispõe para avaliar a segurança de um empreendimento ao longo de sua vida útil são: inspeções visuais, auscultação geodésica de deslocamentos verticais e/ou horizontais, levantamentos batimétricos, e instrumentação de auscultação (CRUZ, 2005).

Segundo Duarte (2006), as obras de engenharia de grande porte comportam certo risco geológico, os quais podem acarretar a ruína parcial ou total das estruturas componentes da obra, com prejuízos para o empreendimento e, eventualmente, também para o meio-ambiente e para as comunidades vizinhas. Pressupõe-se que este risco tenha sido avaliado durante a fase de concepção da obra, e que o projeto da mesma compreenda as medidas necessárias para garantir um nível de segurança adequado para a obra. Dentre estas medidas destaca-se a instalação de um sistema de instrumentação geotécnica, que constituirá o meio de acompanhar, durante a vida útil da obra, se o nível de segurança se mantém dentro das premissas estabelecidas em projeto, permitindo, caso sejam detectadas anomalias, intervenções tempestivas para a manutenção da integridade e segurança da obra. E o nível de segurança adequado de uma obra será função da magnitude dos danos que uma eventual ruptura de uma estrutura possa acarretar. Normalmente, o nível de segurança exigido será tanto maior quanto maior for o porte

da obra, podendo, todavia, variar em função de uma maior ou menor dificuldade do contexto geológico em que a obra se insere.

O monitoramento de barragens, através da instrumentação de auscultação, é a principal ferramenta na avaliação de suas condições de segurança. O monitoramento pode detectar variações nas condições de segurança, como resultado de processos de envelhecimento e alterações ambientais (SARÉ, *et al.* 2006).

A instrumentação será diferente para cada tipo de estrutura a ser instrumentada; as grandezas de maior importância a serem medidas variarão de acordo com o tipo de estrutura: Por exemplo, para uma barragem de concreto são mais importantes as medidas de deformação e deslocamentos entre os blocos que a compõem, já no caso de uma barragem de terra é mais importante o acompanhamento das pressões neutras que se estabelecerão no maciço compactado após o enchimento do reservatório. E para um talude de escavação será importante o acompanhamento do nível freático no terreno, enquanto para uma obra de contenção a grandeza a ser monitorada é a carga nos tirantes, etc. (DUARTE, 2006).

As principais grandezas a serem medidas em barragens de terra e fundações, conforme Cruz (2005) são: níveis de água, medidos por medidores de nível de água; subpressões, medidas por piezômetros; tensões efetivas, detectadas por célula de tensão total; deslocamentos, medidos por medidores de recalques, inclinômetros, extensômetros de hastes e fios; vazões, medidas por medidores de vazão; e deslocamentos cisalhantes, detectados por pêndulos invertidos.

Os principais objetivos da instrumentação geotécnica podem ser agrupados dentro de quatro categorias, a saber: avaliações analíticas, previsão do desempenho futuro, avaliações legais e desenvolvimento e verificação de futuros empreendimentos. As avaliações analíticas consistem na análise dos dados obtidos a partir da instrumentação geotécnica para verificar parâmetros de projeto, hipóteses de modelagem e técnicas de construção, bem como estimar os efeitos de eventos adversos. As previsões de desempenho futuro referem-se às diversas formas de tratamento dos dados de instrumentação, executando-se antecipações que podem confirmar condições normais de operação ou indicar riscos potenciais para a barragem. Os dados da instrumentação podem também ser bastante importantes no caso de avaliações legais e em litígios relacionados com a construção da barragem

como, por exemplo, nas eventuais mudanças ocorridas nas condições de fluxo sub-superficial. O aspecto sobre o desenvolvimento e verificação de futuros empreendimentos se refere à análise do desempenho de uma barragem tanto na etapa de construção quanto na fase de operação, com o propósito de aperfeiçoar o estado-da-arte do projeto e da construção de barragens (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1995).

Para Silveira (2003), os principais pontos sobre a avaliação da segurança de barragens são:

- Todas as barragens devem ser classificadas quanto às conseqüências de uma ruptura em potencial, onde devem ser considerados, fatores como população a jusante, danos materiais, danos ao meio ambiente, danos à infra-estrutura, etc.
- Devem ser inspecionadas periodicamente, para detectar eventuais deteriorações.
- Devem ser instrumentadas de acordo com seu porte e riscos associados, e ter seus dados analisados, através das leituras.
- Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites.
- Todas as barragens devem ser submetidas periodicamente a uma reavaliação de suas condições de segurança, segundo sua classificação quanto às conseqüências de ruptura.
- As barragens deverão ser dotadas de um plano de emergência, objetivando a preservação das pessoas residentes a jusante, em caso de acidente.

Valores de controle da instrumentação de algumas grandezas são usados para avaliação do desempenho e segurança das estruturas e de suas fundações. A comparação desses valores com os medidos pela instrumentação instalada é feita para se detectar possíveis desvios de comportamento, que podem ser indicadores de possíveis anomalias estruturais (GUTIERREZ, 2003).

O Comitê Brasileiro de Grandes Barragens estabeleceu como objetivos básicos da instrumentação os seguintes tópicos, agrupados de acordo com a etapa de desenvolvimento da barragem: construção, primeiro enchimento e operação.

Período de construção:

- Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias no comportamento da barragem como, por exemplo, condições térmicas que possam dar origem a fissuras em estruturas de concreto ou tensões de tração que possam causar fissuras transversais em aterros compactados.
- Possibilitar soluções menos conservadoras, permitindo economia significativa para a obra.
- Fornecer informações, por retro-análise dos dados de instrumentação, a respeito dos valores dos parâmetros dos materiais que constituem a barragem e sua fundação.
- Possibilitar revisões do projeto durante o período construtivo, decorrentes, por exemplo, de análises térmicas do concreto versus intervalos de lançamento ou do acompanhamento do comportamento dos taludes de escavação.

Período de enchimento:

- Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias que possam colocar em risco a segurança da estrutura como, por exemplo, desenvolvimento de pressões neutras elevadas indicando possíveis problemas com o sistema de drenos.
- Possibilitar avaliação do desempenho estrutural, geotécnico e hidráulico da obra, em função das comparações entre grandezas medidas “in-situ” e aquelas previstas por modelos teóricos ou experimentais de análise.
- Verificar a adequação das simplificações introduzidas nas hipóteses de projeto. Através de retro-análises com base nos dados de instrumentação é possível fazer-se uma análise dos modelos constitutivos selecionados para simular o comportamento dos materiais, bem como verificar a eficiência da modelagem matemática e das técnicas numéricas empregadas para a sua solução.

Período de operação:

- Verificar se a barragem está apresentando um desempenho geral satisfatório, conforme previsto em projeto.

- Caracterizar o comportamento no tempo dos solos e/ou do maciço rochoso de fundação determinando o prazo necessário para a estabilização dos deslocamentos, tensões, sub-pressões, vazões, etc.
- Caracterizar o comportamento no tempo das estruturas da barragem, levando-se também em conta os efeitos das condições termo-ambientais.

Apesar da instrumentação não constituir a solução para todos os problemas, é inegável sua utilidade quando convenientemente projetada, instalada e interpretada, não só para a avaliação das condições de segurança de um empreendimento, em todas as suas fases, mas também para verificação das hipóteses adotadas em projeto, com o objetivo principal de tornar as obras mais econômicas, dentro das necessárias condições de segurança (CRUZ, 2005).

O instrumento ideal deve oferecer uma série de características e, normalmente, as mais importantes referem-se à confiabilidade e à durabilidade. Os piezômetros, principalmente os do tipo *standpipe*, são instrumentos de alta confiabilidade, baixo custo e de grande importância para a instrumentação (CRUZ, 2005).

2.2.1 Piezômetros

A determinação de subpressões nas barragens de terra e fundações é realizada através dos piezômetros e medidores de nível de água. Segundo Osako (2002), existem vários tipos de piezômetros comercializados. Os mais comuns são o piezômetro de tubo aberto (*standpipe*), elétrico, de corda vibrante, pneumático e hidráulico. Em Itaipu são encontrados dois tipos de piezômetros, tubo aberto e elétrico, mas no trecho aqui estudado são encontrados somente piezômetros tipo tubo aberto.

2.2.1.1 Piezômetro de tubo aberto (*Standpipe*)

O piezômetro do tipo tubo aberto (*Standpipe*) consiste em um tubo de PVC cuja extremidade inferior é perfurada e envolta por manta geotêxtil, através da qual a água penetra, formando uma coluna equivalente à pressão externa atuante (DUNNICLIFF, 1988). Um corte vertical mostrando a estrutura do equipamento pode ser observado na figura 1.

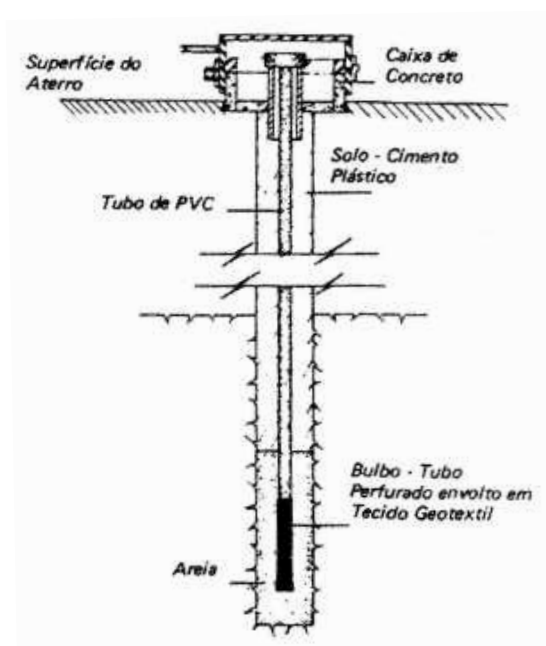


FIGURA 1 – ESQUEMA DE PIEZÔMETRO DE TUBO ABERTO
FONTE: CRUZ (2005)

Este é o mais simples e o mais utilizado de todos os piezômetros, provavelmente devido à facilidade de execução, baixo custo e bons resultados (LIGOCKI, 2003).

Quando os piezômetros acusam pressões superiores à cota da boca do tubo, coloca-se uma mangueira plástica transparente para prolongar a altura da boca. Quando ainda assim não é possível realizar a leitura, instala-se um manômetro na extremidade superior do instrumento, possibilitando assim a leitura de pressão de água (OSAKO, 2002).

Dentre as principais vantagens deste instrumento podem ser citadas a confiabilidade, durabilidade, sensibilidade e possibilidade de verificação de seu funcionamento através de ensaio de recuperação do nível d'água. Permite também

uma estimativa do coeficiente de permeabilidade do solo próximo ao instrumento, sendo, ainda, de baixo custo.

Como limitações do instrumento, podem ser citadas: interferência no canteiro de obras, não ser adequado para determinar poropressões no período construtivo e dificuldade de instalação a montante de barragens devido ao reservatório (dificuldade de acesso para leituras).

Um outro problema que este tipo de piezômetro pode apresentar é o tempo de resposta a mudanças de condições do maciço. Segundo Cruz (2005), dependendo do tipo de solo, em especial levando-se em conta sua permeabilidade, o tempo de resposta nas leituras do equipamento pode variar de alguns minutos até semanas. Porém, para barragens de terra, um tempo de resposta de até uma semana não apresenta maiores consequências.

O piezômetro de tubo aberto mais utilizado é o de Casagrande. Este piezômetro é constituído por uma tubulação de 0,375" (aproximadamente 1cm) conectado a um elemento poroso cilíndrico feito de material cerâmico e é o piezômetro de tubo aberto mais utilizado. Foi desenvolvido por Casagrande durante a construção do aeroporto de Logan, Boston (DUNNICLIFF, 1988).

A leitura é feita introduzindo no tubo uma trena com sensor elétrico (chamado pio) na extremidade, que acusa o encontro com a água através da variação brusca de leitura de um dispositivo analógico. Após a detecção da presença de água, é realizada a leitura da trena. Na figura 2, pode-se observar piezômetros instalados em Itaipu.



(2.A)



(2.B)

FIGURA 2 – PIEZÔMETRO STANDPIPE DE ITAIPU: (2.A) EXTREMIDADE SUPERIOR DO INSTRUMENTO; (2.B) CORTE DE FURO COM INSTRUMENTO INSTALADO

2.3 MAPEAMENTO DE VARIÁVEIS GEOTÉCNICAS

É de suma importância para a avaliação da segurança de obras de engenharia civil que se conheça, do ponto de vista geotécnico, o subsolo do sítio em questão e seu comportamento ao longo da vida útil da obra, estudando suas propriedades físicas, tais como estratigrafia, nível de água subterrâneo, granulometria, resistência mecânica, permeabilidade e outras. Em geral, estas propriedades são obtidas através de investigações de campo e laboratório, bem como de instrumentação instalada no local, onde se avaliam os parâmetros do solo e/ou rocha em determinadas porções do maciço. Desta forma, obtêm-se informações em determinados pontos ou planos do sítio (avaliação discreta), que deverão ser espalhadas para o meio contínuo que compõe o subsolo. Para a obtenção destas informações de forma contínua, muitas vezes são utilizados métodos matemáticos de interpolação, sendo o linear o mais comumente utilizado (AIEVC, 2005).

Numa obra de maior responsabilidade ou para áreas mais extensas, pode-se dizer que a interpolação linear talvez não seja a mais adequada. Na escolha do método a ser usado na interpolação destas informações, deve ser levada em conta, sobretudo, a variabilidade das propriedades do subsolo, ou seja, quão heterogêneo é o maciço estudado. Assim, pode-se partir para o uso de técnicas não lineares de interpolação e mapeamento de dados, tais como splines, geoestatística e métodos baseados em inteligência computacional, tais como redes neurais (Dyminski *et al.*, 2006a)

Em mapeamento de solos, um trabalho muito completo foi desenvolvido por McBratney *et al.* (2003), onde os autores utilizam modelos lineares, árvores de classificação e regressão, redes neurais, sistemas fuzzy e geoestatística para mapear características “espectrais” de diferentes tipos de solo, obtidas por imagens de satélite. A variabilidade espacial de características físico-químicas de solos, em termos tridimensionais, foi analisada por Park e Vlek (2002) através de três abordagens: redes neurais, árvores de regressão e modelos lineares. Zhou *et al.* (2004) realizaram um mapeamento de tipos de solos, com dados obtidos por imagens de satélite e SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando modelagem baseada em árvores de decisão e predição Bayesiana. Juang e Jiang

(2001) utilizaram ensaios CPT de um depósito de areia como parâmetros para geração de um modelo neural do sítio analisado, o autor utiliza o modelo neural para dois tipos de caracterização do sítio: a análise unidimensional (caracterização do sítio somente na direção vertical) e a análise bidimensional (caracterização do sítio em que a coordenada z é fixada para analisar um plano xy). Li *et al.* (2005) e Robinson e Metternicht (2006) mostraram em seus trabalhos quão importante é a escolha do método de interpolação na obtenção de mapeamentos confiáveis. Contudo, em geral os mapeamentos realizados por estes autores são bidimensionais, ou seja, a interpolação de dados se dá em planos ou cortes específicos do terreno avaliado.

Existem trabalhos de mapeamento geotécnico usando diferentes abordagens (interpolação linear, splines, vizinhança mais próxima, geoestatística e redes neurais), a fim de caracterizar tridimensionalmente sítios com formações bastantes distintas. O maciço do sítio da Usina Nuclear de Angra-2, no litoral do Rio de Janeiro, foi mapeado usando-se informações obtidas através de ensaios SPT por Veiga *et al.* (2002). O subsolo da Região Central de Curitiba, perfazendo uma área de 9 km^2 , foi mapeado por Miqueletto e Dyminski (2004). O subsolo do sítio do Porto de Navegantes, no litoral catarinense, teve sua estratigrafia e N-SPT mapeados tridimensionalmente por Dyminski *et al.* (2006b) e Ribeiro *et al.* (2007). Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e muito dependentes da heterogeneidade dos materiais envolvidos e da quantidade e qualidade das informações disponíveis para o mapeamento. (AIEVC, 2005).

Mapeamentos das subpressões em Itaipu já foram publicados por Andraos *et al.* (2008) e Sanchez *et al.* (2008), onde foi estudada a variabilidade espacial e temporal de subpressões na fundação de um trecho da barragem. Técnicas de interpolação baseadas em geoestatística foram utilizadas para o mapeamento das subpressões. Os mapas gerados mostraram-se uma útil ferramenta para a detecção de variações de leituras, bem como para a identificação das regiões abrangidas por estas modificações de subpressão, que poderiam indicar algum problema.

As incertezas relacionadas ao programa de investigação realizado e do tipo de instrumentação instalada encontram-se diretamente ligadas à escolha da técnica de mapeamento, pois diferentes métodos de investigação implicam em diferentes quantidades de dados e em qualidade diferenciada das informações obtidas.

2.3.1 Redes Neurais Artificiais

Redes neurais artificiais (RNA's) são sistemas paralelos distribuídos formados por unidades de processamento simples (neurônios) que realizam funções matemáticas, geralmente não-lineares. As RNA's tiveram sua origem na tentativa de gerar um modelo artificial que simule a estrutura do cérebro humano, mas podem ser definidas como uma metodologia estatística capaz de resolver com sucesso vários problemas de engenharia e de outras áreas (DYMINSKI, 2000).

Segundo Haykin (1999), uma rede neural artificial é formada por diversos neurônios artificiais. A figura 3 representa um neurônio esquematicamente. Em um modelo de neurônio, podem ser identificados alguns elementos básicos:

- a) sinapses que são responsáveis pelas conexões, cada uma caracterizada por um peso sináptico w_{kj} , onde o índice k corresponde ao número do neurônio e j ao estímulo de entrada;
- b) um somatório dos sinais de entrada já multiplicados por seus respectivos pesos (combinação linear), resultando no valor u_k ;
- c) uma função de ativação ϕ que visa limitar os sinais de entrada a um determinado intervalo, normalmente entre 0 e 1 ou -1 e 1;
- d) o limiar ou polarizador, θ_k , que possui um efeito de diminuir ou aumentar o valor da combinação linear das entradas (u_k) na função de ativação.

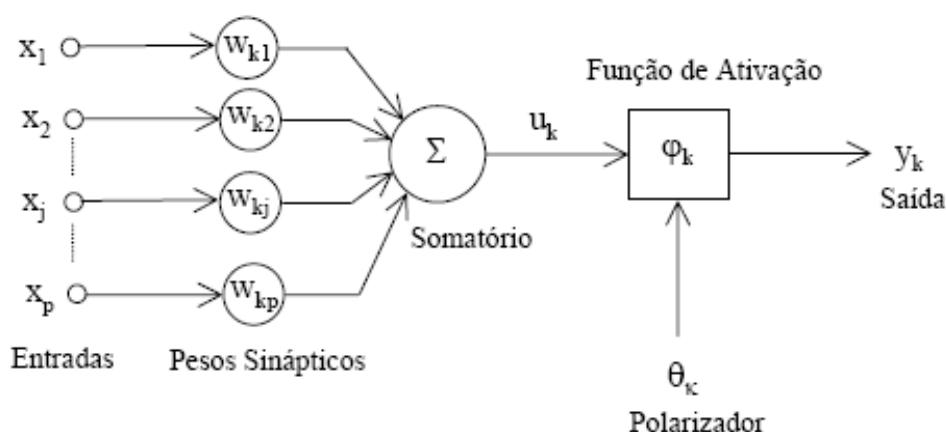


FIGURA 3 – MODELO DE UM NEURÔNIO ARTIFICIAL
FONTE: HAYKIN (1999)

Nas RNA's, os neurônios podem ser dispostos em uma ou mais camadas e interligados por um grande número de conexões, geralmente unidirecionais. Na maioria dos modelos estas conexões estão associadas a pesos (w_{ij}), os quais armazenam o conhecimento representado no modelo e servem para ponderar a entrada recebida por cada neurônio da rede (GUTIÉRREZ, 2003).

A solução de problemas através de RNA é bastante atrativa, já que a forma como estes são representados internamente pela rede e o paralelismo natural inerente à arquitetura das RNA's, são bastante favoráveis à obtenção de um bom desempenho em relação aos modelos determinísticos convencionais. Na técnica de redes neurais o procedimento usual na solução de problemas passa inicialmente por uma fase de aprendizagem, na qual um conjunto de exemplos é apresentado à rede, que extrai automaticamente as características necessárias para representar a informação fornecida. Estas características são utilizadas posteriormente para gerar as respostas do problema em análise (HAYKIN, 1999; BISHOP, 1995; ZURADA, 1992).

A capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida é, sem dúvida, o atrativo principal da solução de problemas através de redes neurais. A generalização, associada à habilidade da rede ser treinada através de um conjunto de exemplos e posteriormente estar apta a fornecer respostas coerentes para dados desconhecidos, é uma demonstração de que a capacidade da rede vai muito além do que simplesmente mapear relações de entrada e saída. As RNA's são capazes de extrair informações apresentadas de forma não-explicita através destes exemplos (DYMINSKI, 2000).

As RNA's são capazes de atuar como mapeadores universais de funções multivariadas, com custo computacional que cresce apenas linearmente com o número de variáveis. Outra característica importante é a capacidade de auto-organização e de processamento temporal que, aliada àquelas citadas anteriormente, faz das RNA's uma ferramenta computacional extremamente poderosa e atrativa para a solução de problemas complexos (BRAGA *et al.*, 2000).

Redes neurais artificiais apresentam diversas aplicações na área de engenharia geotécnica (CARVALHO, 2005). Encontram-se aplicações de RNA's em caracterização e classificação de solos e rochas, potencial de liquefação de depósitos de areias, fundações, escavações, estabilidade de taludes, mineração

reforço de solos (TOLL, 1996); modelos constitutivos com RNA's (GHABOUSSI *et al.*, 1991); água subterrânea (GANGOPADHYAY *et al.*, 1999) e outras.

2.3.1.1 Arquitetura da rede

A arquitetura de rede define como as unidades de processamento simples (ou neurônios) são dispostas, ou seja, como os diversos neurônios são conectados entre si. O tipo de rede neural artificial mais utilizado em aplicações em engenharia é chamado de *multi-layer feedforward*, caracterizando-se por apresentar neurônios organizados em camadas. O neurônio pode estar total ou parcialmente conectado por sinapses (pesos). As entradas alimentam a rede e são processadas até alcançarem a camada de saída, sem realimentação. Por isso são denominadas como *feedforward* (alimentação e propagação para frente) (DYMINSKI, 2000).

Na figura 4, pode ser observada uma rede neural totalmente conectada, com 4 entradas e 2 saídas e que possui duas camadas escondidas internas, localizadas entre os nós de entrada e a camada de saída: a primeira possuindo 5 neurônios e a segunda, 3. Sabe-se que a maior parte dos problemas de engenharia podem ser resolvidos com redes de uma ou duas camadas escondidas apenas.

O número de neurônios e de camadas está associado à complexidade do modelo pretendido, refletida no número de pesos (parâmetros) que se vai estimar.

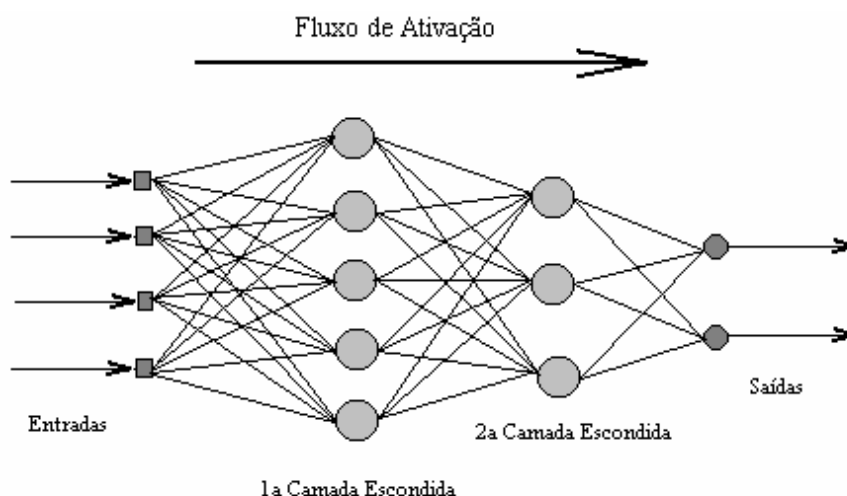


FIGURA 4 – EXEMPLO DE REDE NEURAL MULTI-LAYER FEEDFORWARD
FONTE: DYMINSKI (2000)

2.3.2 Geoestatística

2.3.2.1 Aspectos Gerais

Métodos geoestatísticos permitem estimar valores de atributos em estudo em locais não amostrados levando em conta o comportamento espacial de determinado fenômeno e minimizando o erro associado a essa estimativa (GEOESTATÍSTICA ONLINE, 2007). Tais métodos compõem uma categoria particular em estatística espacial adequada para modelar dados obtidos por amostragem espacialmente discreta de um processo espacialmente contínuo na área de estudo (DIGGLE e RIBEIRO Jr, 2007).

A teoria geoestatística assume que, de forma geral, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si e, portanto, espaço e temporalmente mais correlacionadas do que as que estiverem distantes (ISAKS & SRIVASTAVA, 1989, apud ZIMBACK, 2003).

As técnicas geoestatísticas podem descrever e modelar padrões espaciais, prever valores em locais não amostrados, obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados e otimizar malhas de amostragem (ANDRIOTTI, 2003). A análise geoestatística consiste de duas etapas básicas: primeiramente estima-se a estrutura de autocorrelação espacial e depois, utilizando-se estas estimativas, são feitas previsões espaciais.

O procedimento para a utilização da geoestatística na estimativa de variáveis é realizado calculando-se o variograma experimental e o ajuste de modelo teórico e, em seguida, fazendo-se o processo de estimativa através da krigagem. Alternativamente, outros métodos de estimação podem ser utilizados tais como os baseados na função de verossimilhança (DIGGLE e RIBEIRO Jr, 2007).

O variograma permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado (HUIJBREGTS 1975, apud GEOESTATÍSTICA ONLINE, 2007). É possível ainda analisar a variabilidade espacial em função da distância numa determinada direção e desta em relação a outras para inferir uma possível anisotropia do fenômeno estudado.

Para a obtenção do variograma, os dados são pareados em todas as combinações possíveis e agrupados dentro de classes (“lags”) de distâncias e direções aproximadamente iguais (ENGLUND e SPARKS, 1988).

Os variogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos em relação a um modelo para a média do processo, e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e também a continuidade da característica estudada no terreno (LANDIM, 1998).

A sensibilidade dos variogramas, para detectar a variabilidade espacial das amostras, está diretamente ligada ao ajuste dos dados experimentais ao modelo teórico do variograma. Dentre os modelos teóricos, o esférico, o exponencial e o gaussiano são freqüentemente utilizados (ZIMBACK, 2003), embora diversos outros tenham sido propostos na literatura.

2.3.2.2 Krigagem

A análise do problema em estudo é, em geral, baseada na visualização dos resultados na forma de mapas que descrevem o comportamento estimado do atributo de interesse na região. Mapas de isolinhas, diagramas de bloco e mapas temáticos são comumente utilizados. O mapa de isolinhas representa curvas de isovalores, que representam curvas de mesmo nível piezométrico e gradiente de subpressão. A técnica mais comum para a elaboração destas cartas supõe a construção de uma estrutura regular quadrada cujos nós são estimados por krigagem, considerando uma vizinhança local. Após a estimação, utilizam-se algoritmos de interpolação de curvas para o desenho das curvas de isovalores (BRAGA, 1990).

A krigagem compreende um conjunto de técnicas de predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. A hipótese implícita no procedimento geoestatístico usual é que o processo estudado é estacionário na sua estrutura de covariância. Desta forma, os passos básicos num estudo empregando técnicas de krigagem incluem: (a) análise exploratória dos dados para orientar a escolha de modelos adequados; (b) análise estrutural com obtenção de estimativas

dos parâmetros do modelo e escolha entre possíveis modelos; (c) interpolação para obtenção da superfície estimada.

O procedimento de interpolação é chamado de krigagem a partir da estruturação teórica baseada no conceito de variável regionalizada, desenvolvida por Georges Matheron. Uma variável regionalizada é uma variável distribuída no espaço (ou tempo) cujos valores são considerados como realizações de uma função aleatória (ou processo aleatório, ou campo aleatório, ou processo estocástico) (DRUCK, *et al.*, 2004).

O estimador de krigagem determina uma ponderação dos valores amostrados internamente ou externamente ao painel cujo valor médio se deseja estimar. A ponderação das amostras elimina, em média, os erros de excesso, o que vem a ser uma característica do procedimento de krigagem. Na interpolação, são considerados o número de amostras utilizadas, as posições das amostras na área a ser avaliada, as distâncias entre as amostras e a zona a ser estimada, e a continuidade espacial da variável em estudo (ANDRIOTTI, 2003).

Em sua forma básica, o preditor de krigagem pressupõe ausência de erros de medidas e variogramas corretos. Entretanto, tais pressuposições podem ser relaxadas, por exemplo adotando-se métodos bayesianos que incorporam na predição a incerteza associada à estimação dos parâmetros que descrevem a estrutura espacial. As predições podem ser vistas como médias ponderadas dos valores observados na vizinhança em que os vizinhos mais próximos têm peso maior e, os mais afastados, pesos cada vez menores, nulos ou até negativos (DIGGLE e RIBEIRO Jr, 2007).

O método para determinar a vizinhança na estimativa de krigagem é uma combinação entre os métodos da distância constante e dos vizinhos constantes (VIEIRA *et al*, 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, é descrita a barragem de Itaipu, que possui um sistema de instrumentação que conta com mais de 2000 instrumentos de auscultação geotécnica e estrutural, de diversos tipos, entre eles deformímetros, tensômetros, termômetros, medidores de junta, bases de alongâmetro, pêndulos direto e invertido, piezômetros, extensômetros, medidores triortogonais, medidores de nível d'água e medidores de vazão. Neste trabalho, são usados dados relacionados a uma parte deste universo, ou seja, somente são utilizadas as leituras de 206 piezômetros instalados na fundação da barragem.

Os modelos desenvolvidos, além da forma como as técnicas matemáticas foram empregadas no desenvolvimento dos mesmos, encontram-se também descritos a seguir.

3.1 DADOS UTILIZADOS – USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU

3.1.1 Usina Hidrelétrica de Itaipu

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é um empreendimento binacional desenvolvido pelo Brasil e pelo Paraguai no Rio Paraná. A potência instalada da Usina é de 14.000 MW, com 20 unidades geradoras de 700 MW cada, sendo a maior geradora de energia hidrelétrica do mundo (ITAIPU, 2008).

Pode-se dizer que Itaipu não é uma barragem, mas um complexo delas. Esquemáticamente, na figura 5, tem-se uma planta da Barragem de Itaipu.

A barragem de terra na margem esquerda é chamada de trecho L; a barragem de enrocamento, de trecho K; barragem de ligação direita, trecho E e esquerda, trecho I; estrutura de desvio, trecho H; barragem principal, trecho F; casa de força, trecho U; barragem lateral direita, trecho D; vertedouro, trecho A; e a barragem de terra na margem direita, trecho Q.

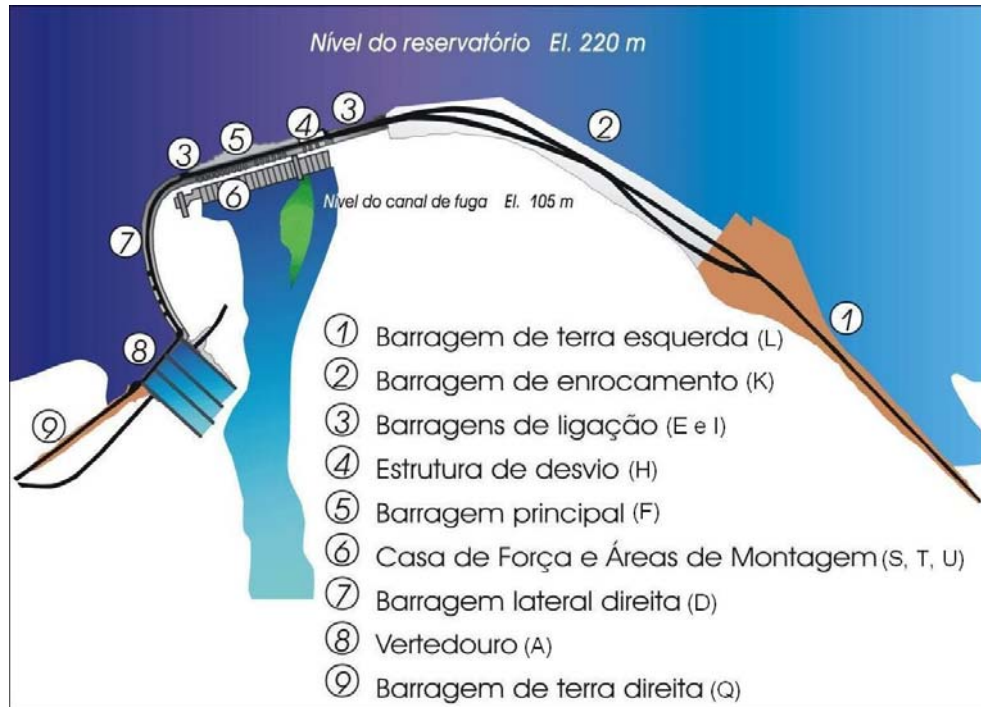


FIGURA 5 – PLANTA DO COMPLEXO DE ITAIPU
FONTE: ITAIPU (2008)

O perfil geológico típico do maciço de fundação da barragem principal é formado por diferentes derrames basálticos, intercalados por descontinuidades típicas dos contatos entre derrames. A figura 6 traz uma representação deste maciço.

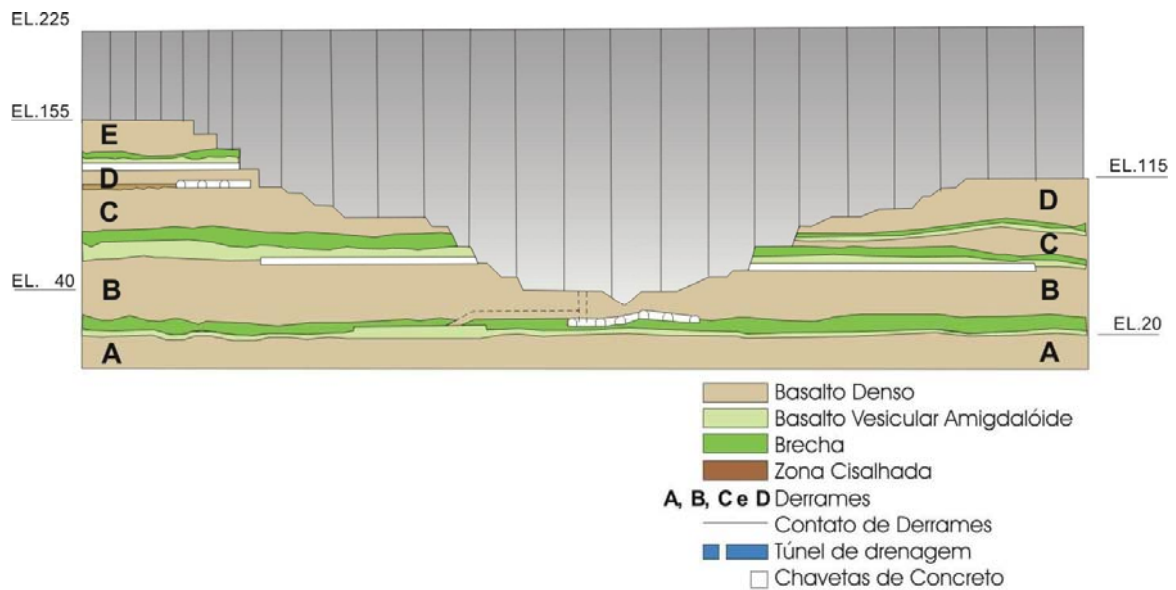


FIGURA 6 – DERRAMES “A” a “E” DO PERFIL BASÁLTICO DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO DE ITAIPU
FONTE: ITAIPU (2008)

3.1.2 Dados de auscultação usados no estudo

Leituras piezométricas em Itaipu são obtidas desde os anos 1980. Após o período de enchimento, em geral estas leituras apresentam periodicidade quinzenal. Desta forma, foram utilizadas as leituras dos piezômetros instalados na fundação dos trechos F (barragem principal), U (casa de força), trecho H(Estrutura de Desvio). Os trechos estudados consistem em estruturas de grande importância da barragem, pois estão submetidos às maiores pressões de água do reservatório, visto que ficam no trecho central do leito do rio.

O período escolhido para a medição inicia-se no ano 2000 até o ano 2001, a fim de se obter a distribuição espacial e temporal dos níveis piezométricos. Neste período, os instrumentos já estavam funcionando de forma estável, segundo valores de controle. Porém, é importante ressaltar que no ano 2000, houve um grande período de estiagem no território brasileiro, o que prejudicou em parte o sistema nacional de geração de energia hidrelétrica devido à diminuição dos níveis os reservatórios das usinas. Assim, Itaipu teve de suprir boa parte desta defasagem, fazendo com que seu reservatório trabalhasse num nível 5 metros abaixo do mínimo usual. Na figura 7, pode-se observar o conjunto de medições do piezômetro PSF 121 (piezômetro instalado no trecho F da barragem de Itaipu), ocorridas entre os anos 1981 e 2005.

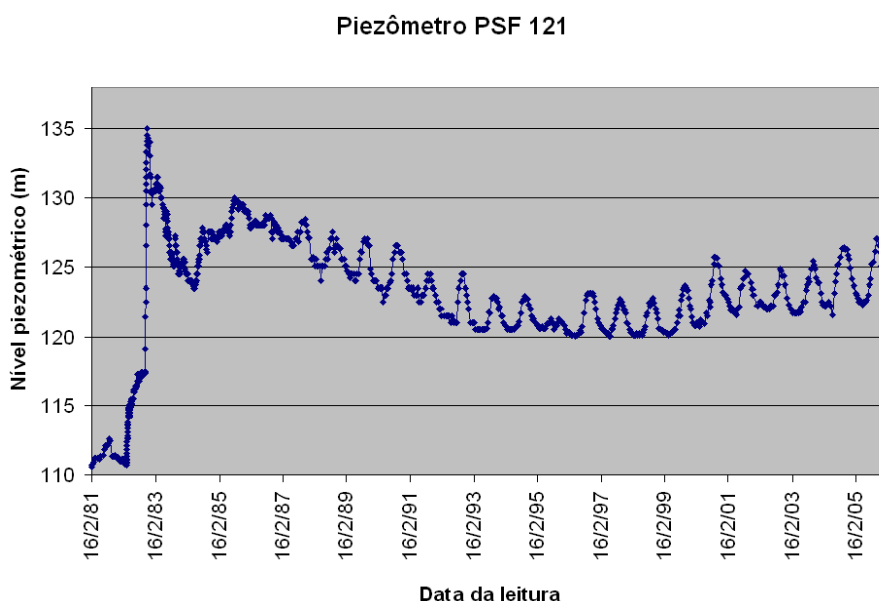


FIGURA 7 – LEITURAS DO PIEZÔMETRO PSF121

Foram utilizados neste estudo 206 piezômetros, sendo 64 no trecho F, 84 no trecho U e 58 no trecho H. Estes piezômetros estão instalados em diferentes regiões, alguns se encontram à montante da cortina de injeção de montante, outros foram instalados entre a cortina de injeção de montante e a linha de drenos de montante, outros entre as linhas de drenos de montante e de jusante e ainda outros entre a linha de drenos de jusante e a cortina de injeção de jusante. Na figura 8, pode-se observar um corte esquemático do trecho principal da barragem, mostrando a localização das cortinas supra citadas. Na figura 9, é apresentada uma planta envolvendo todo o trecho estudado, bem como a localização dos piezômetros estudados. Cabe lembrar que os trechos em concreto da barragem de Itaipu são compostos por “blocos chaves”, denominados segundo o trecho em que se encontram e a ordem em que se apresentam, podendo ser observados na figura 9, separados por linhas semi-horizontais.

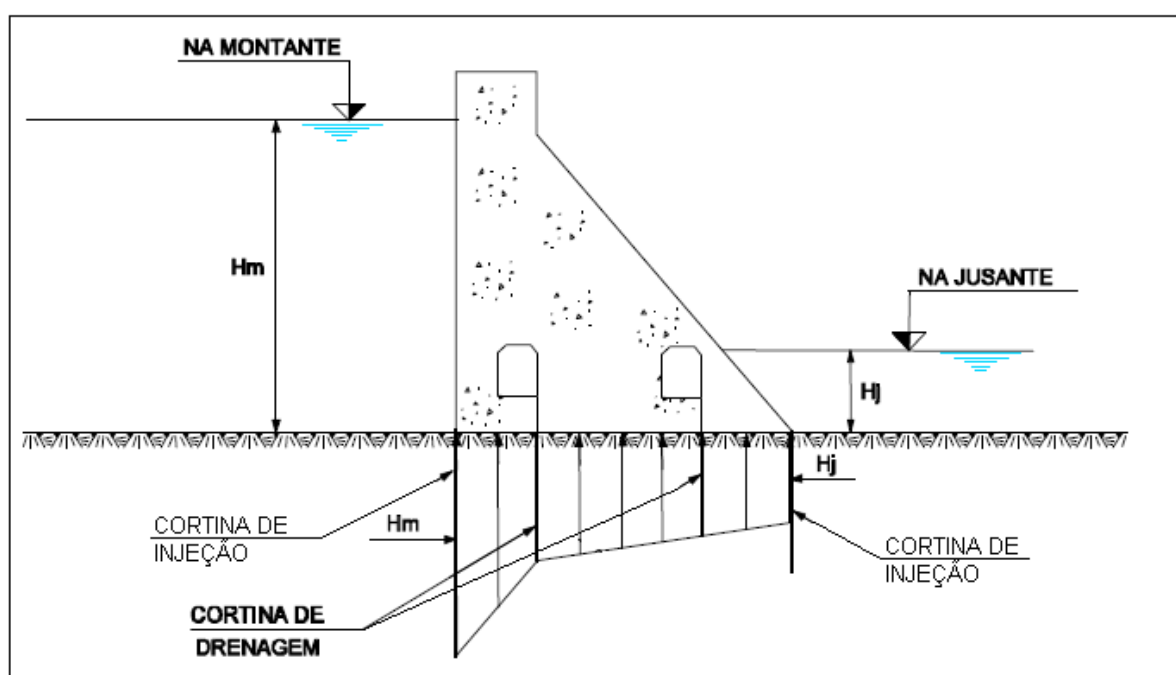


FIGURA 8 – SUBPRESSÃO COM DUAS LINHAS DE DRENOS E DUAS CORTINAS DE INJEÇÃO
FONTE: ADAPTADO DE ELETROBRÁS (2003)

3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A primeira etapa deste estudo foi a montagem de um banco de dados facilmente utilizável, com a localização de cada um dos instrumentos em referencial único e suas leituras, para a alimentação e o desenvolvimento dos modelos matemáticos.

Inicialmente, foi necessária a identificação dos instrumentos com nomenclatura uniformizada, pois nos projetos de instrumentação e relatórios periódicos de acompanhamento da instrumentação, eles apareciam com denominações diferentes. Um exemplo de projeto de instrumentação de Itaipu pode ser observado na figura 10. Feito isso, usando estes documentos, foi possível obter as coordenadas dos instrumentos no seu referencial local (Bloco) e suas leituras.

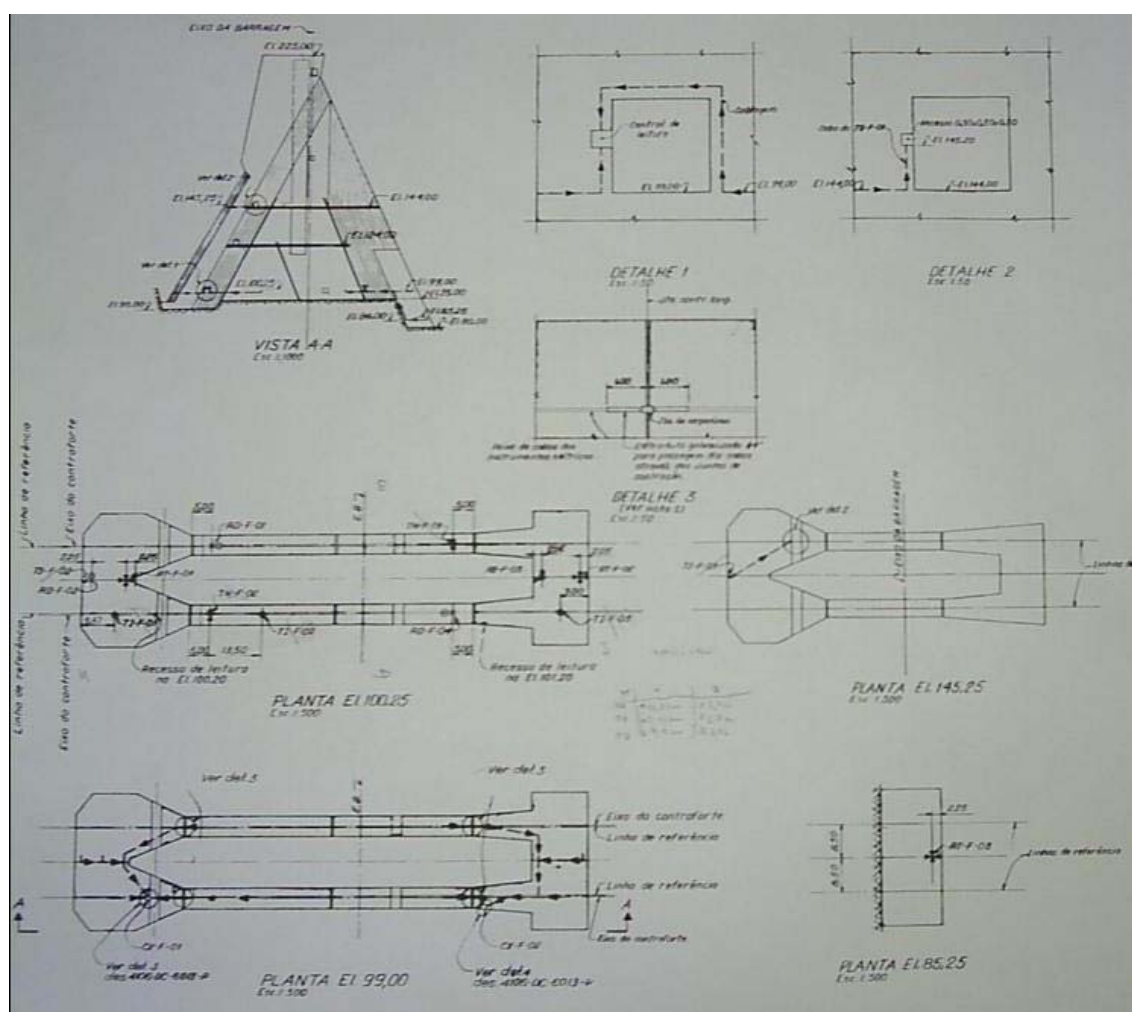


FIGURA 10 – EXEMPLO DE PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE ITAIPU

Para as coordenadas locais dos instrumentos elaboraram-se planilhas em que cada instrumento foi referenciado ao seu bloco, com as seguintes informações:

- Projeto.
- Bloco.
- Posição da cabeça / boca (local onde é realizada a leitura do instrumento).
 - Cota.
 - Afastamento do eixo da barragem (Montante ou jusante).
 - Afastamento do eixo do bloco (Direita ou esquerda).
- Posição do Instrumento
 - Cota.
 - Inclinação.
 - Declinação.
 - Afastamento do eixo da barragem (Montante ou jusante).
 - Afastamento do eixo do bloco (Direita ou esquerda).
 - Feição.

Um exemplo de planilha usado na organização dos dados encontra-se ilustrada no quadro 2.

Instrumento	Projeto	Bloco / Est.	Posição Cabeça - Boca			Posição Instrumento					
			Cota	A. E. Ba. (M/J)	A. E. BI (D/E)	Cota	Incli.	Decli.	A. E. Ba (M/J)	Af. E. BI (D/E)	Feição
PSD010	4096-DC-5006-P	D-7	192,83	-4,85	-7,00	181,69	-48,00	-	-18,70	6,00	Cont. C/ Rocha
PSD011	4096-DC-5006-P	D-7	176,55	-15,20	-5,50	172,20	-66,00	-	-23,80	0,00	Cont. C/ Rocha
PSD012	4096-DC-5006-P	D-7	176,58	-13,25	-3,90	171,97	-52,00	-	-16,80	0,00	Cont. C/ Rocha
PSD019	4096-DC-5006-P	D-8	192,44	-5,00	5,50	189,79	-77,00	-	-15,50	0,00	Cont. C/ Rocha
PSD020	4096-DC-5006-P	D-8	192,34	-3,10	3,90	189,44	-63,00	-	-8,10	0,00	Cont. C/ Rocha
PSD021	4096-DC-5006-P	D-8	192,46	-6,90	7,00	189,64	-73,00	-	-15,10	-6,00	Cont. C/ Rocha
PSD031	4096-DC-5005-P	D-10	192,29	-5,00	5,50	187,64	-63,00	-	-12,70	0,00	Cont. C/ Rocha
PSD035	4096-DC-5005-P	D-12	188,10	-7,30	5,50	184,64	-67,00	-	-14,50	0,00	Cont. C/ Rocha

QUADRO 2 – EXEMPLO DE PLANILHA DO BANCO DE DADOS

Em seguida foi realizada a transferência dessas coordenadas locais para globais, pois era necessário que todos os instrumentos ficassem localizados segundo um mesmo referencial.

Para transformar essas coordenadas locais para globais foi preciso uma translação e uma rotação de eixos para cada um dos blocos da barragem (Figura 11). Essa etapa envolveu muito trabalho e muito tempo, pois foi preciso retirar

manualmente dos desenhos de cada bloco o ângulo de seu eixo local em relação ao eixo global, e em seguida transformar as coordenadas.

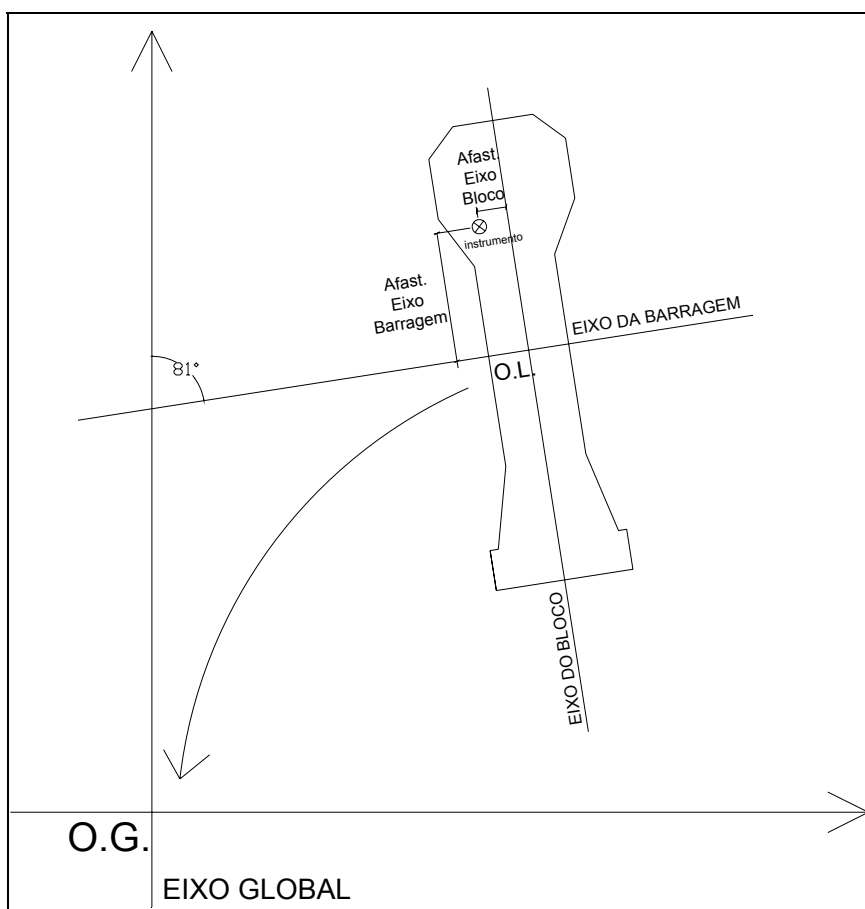


FIGURA 11 – TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO DOS EIXOS LOCAIS (O.L.) PARA GLOBAL (O.G.)

Com as informações das coordenadas UTM de cada instrumento, foi possível a elaboração de planilhas desses instrumentos contendo a sua localização e leituras desde os anos 1980, como mostra o quadro 3 abaixo.

Nome		Coordenadas			Data	Leituras			
cód. Instalação	cód. Projeto	X	Y	Z		hora	tipo leit	leitura	cota_naps
PS-F-04	PS-F-04	162,03	400,32	62,78	04/09/2000	0000	F	34.640	75.88
					18/09/2000	0000	F	34.640	75.88
					09/10/2000	0000	F	34.630	75.89
					23/10/2000	0000	F	34.640	75.88
					07/11/2000	0000	F	34.650	75.87
					21/11/2000	0000	F	34.610	75.91
					04/12/2000	0000	F	34.640	75.88
					19/12/2000	0000	F	34.650	75.87
					08/01/2001	0000	F	34.640	75.88
					23/01/2001	0000	F	34.650	75.87
					05/02/2001	0000	F	34.610	75.91
					20/02/2001	0000	F	34.630	75.89
					05/03/2001	0000	F	34.650	75.87

QUADRO 3 – EXEMPLO DO BANCO DE DADOS

Para as simulações realizadas neste estudo, utilizaram-se as coordenadas UTM (X e Y), a cota de instalação dos instrumentos e as médias mensais das leituras de cada um dos instrumentos. Foram utilizadas as médias mensais das leituras porque o número de leituras em um mês variava para cada instrumento. O período estudado foi de janeiro de 2000 a janeiro de 2001.

Foram analisadas duas áreas do corpo da barragem de Itaipu: a primeira é menor, chamada de “Área 1”, que vai do bloco F5 – U3 até F27-U13 e, a segunda, chamada de “Área 2”, cobrindo toda a área de estudo, ou seja, todos os blocos dos trechos F, U, T e H. Desta forma, diz-se que a Área 1 está inserida na Área 2. O contorno destas áreas, no trecho estudado de Itaipu, pode ser observado na figura 12.

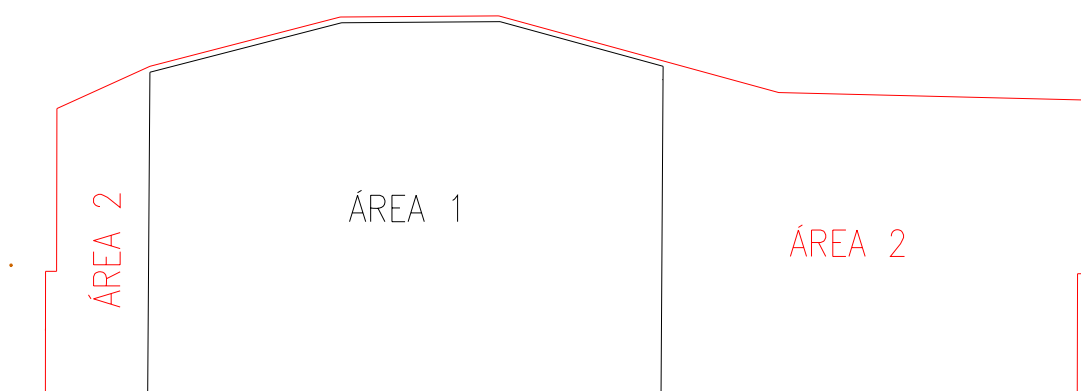


FIGURA 12 – DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS 1 E 2 DO TRECHO ESTUDADO

A análise por redes neurais foi realizada tanto para a Área 1 quanto para a Área 2. A análise por geoestatística, que foi realizada somente para a Área 1, indicou a necessidade da informação da região de instalação dos piezômetros, visto que valores são de diferentes magnitudes em áreas distintas, devido às grandes diferenças de subpressão ao longo da fundação da barragem, ocasionadas pela existência das cortinas de injeção e de drenagem (vide Figura 8). Assim, estas regiões de diferentes magnitudes de subpressão foram denominadas: Região 1 - à montante da cortina de injeção de montante; Região 2 - entre a cortina de injeção de montante e a linha de drenos de montante; Região 3 - entre as linhas de drenos de montante e de jusante, e, Região 4 - entre a linha de drenos e a cortina de jusante. Esta divisão encontra-se mostrada na figura 13.

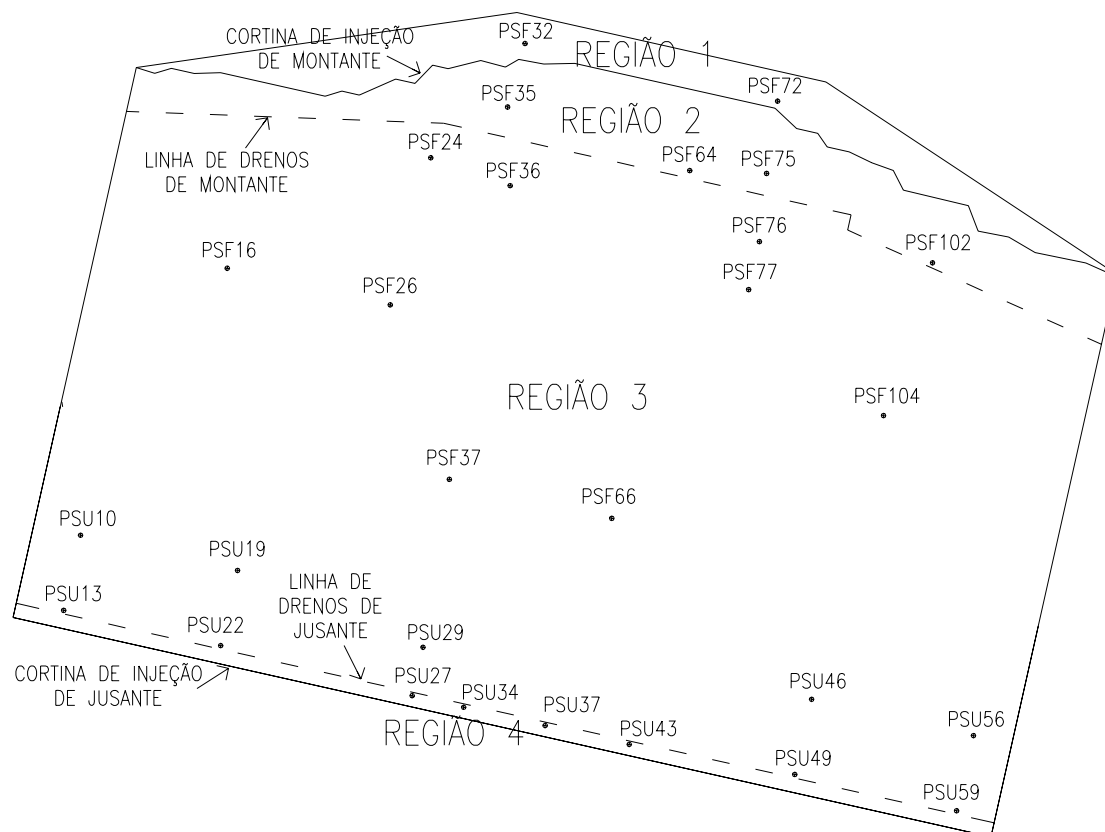


FIGURA 13 – REGIÕES 1 A 4

3.3 MAPEAMENTO DAS SUBPRESSÕES

3.3.1 Redes Neurais Artificiais

O mapeamento das subpressões da barragem de Itaipu, através de redes neurais artificiais, foi realizado com o programa computacional MatLab (MATLAB, 2004). As rotinas utilizadas nas análises encontram-se no Apêndice 1.

As informações obtidas através do sistema de auscultação de barragens, através de leituras periódicas realizadas, compõem séries temporais de dados. Para os diferentes modelos estudados, foram utilizados como dados de entrada para a rede neural: a localização dos piezômetros, a cota em que eles se encontram e, também, leituras anteriores dos piezômetros, sendo os dados de saída as médias mensais das leituras desses piezômetros. Todos os dados foram normalizados para o intervalo 0 a 1. Essa normalização foi feita separadamente para cada tipo de dado,

ou seja, os dados referentes a coordenada X foram normalizados somente com os dados da coordenada X, da mesma forma com os outros tipos de dado, Y, Z e leituras.

Os modelos foram estruturados usando-se redes alimentadas adiante com múltiplas camadas (*multi-layer feedforward*) com uma camada escondida e variando o número de neurônios de 1 a 20. O algoritmo de treinamento utilizado é o *Levenberg-Marquardt*, as funções de ativação utilizadas foram sigmóide (camada intermediária) e linear (camada de saída). O critério de parada é quando a taxa absoluta de variação do erro médio quadrado por iteração for suficientemente pequena (10^{-5}), com no máximo 80 iterações.

Inicialmente, o conjunto de dados foi separado em conjuntos de treinamento e de teste. O conjunto de treinamento consiste nos dados de todos os instrumentos, menos um, que é o instrumento escolhido para testar a rede. Foram escolhidos 6 instrumentos nos modelos realizados na Área 2 e, 3 instrumentos nos modelos da Área 1, onde em cada simulação dos modelos, era retirado somente um instrumento de cada vez. O critério de escolha foi a localização do instrumento, procurando, desta forma, amostrar diferentes regiões do maciço de fundação.

Para a escolha da melhor arquitetura de rede para cada modelo (número de camadas e número de neurônios em cada camada), foram testadas diversas arquiteturas, variando-se o número de neurônios de redes de apenas uma camada escondida. Cada arquitetura foi inicializada 1 vez, com pesos iniciais aleatórios. Para o treinamento destas redes, utilizou-se o sistema *leave one out* onde os dados de treinamento são apresentados à rede e, cada instrumento, um de cada vez, é retirado dos dados de treinamento e utilizado provisoriamente como dado de teste, gerando um valor de erro. Após todos os instrumentos serem usados no *leave one out* é calculado a média dos erros de treinamento e teste, que são as médias das *performances* de treinamento e de teste da rede, adotando-se, como arquitetura de rede ideal em cada modelo de simulação, aquela que apresentar a menor média de erros de teste.

O erro foi calculado subtraindo a predição realizada da leitura real do instrumento, de cada mês estudado.

Para a escolha da rede neural, após determinado o melhor número de neurônios, reinicializou-se a rede cinco vezes, e foi escolhida aquela que

apresentava a melhor *performance* de teste (o menor erro de teste), onde em cada uma das cinco reinicializações eram modificados os pesos iniciais aleatoriamente.

Foram realizadas diferentes simulações retirando alguns instrumentos, um de cada vez, para ser utilizado como teste.

3.3.1.1 Modelo 1

O primeiro modelo neural proposto foi aplicado a apenas uma feição do maciço de fundação da barragem e na Área 1, escolhendo-se para tal o Contato A/B, devido ao fato do mesmo ter mais instrumentos, perfazendo um total de 28 instrumentos, que estão listados no quadro 4 . Este modelo foi somente espacial, em que foram usados somente dados de entrada de localização de instrumentos, não se trabalhando com leituras de instantes diferentes.

TRECHO DA ÁREA 1	PIEZÔMETROS INSTALADOS NO CONTATO A/B
F	PSF16, PSF24, PSF26, PSF32, PSF35, PSF36, PSF37, PSF64, PSF66, PSF72, PSF75, PSF76, PSF77, PSF102 E PSF104
U	PSU10, PSU13, PSU19, PSU22, PSU27, PSU29, PSU34, PSU37, PSU43, PSU46, PSU49, PSU56, PSU59

QUADRO 4 - INSTRUMENTOS EXISTENTES NA ÁREA 1, CONTATO A/B

Para este modelo foram utilizados, como dado de entrada para a rede, as coordenadas X e Y e a Região que se encontra cada instrumento. Neste caso, foi utilizada como entrada a variável “região” para poder fazer uma comparação entre os modelos por redes neurais e geoestatística (a simulação por geoestatística está mostrada no item 4.2), visto que para se poder fazer uma comparação entre modelos distintos, deve-se usar a mesma informação para os dois modelos que forem comparados. Não foi utilizada a variável cota (Z), pois está se estudando apenas uma feição do maciço de fundação, o contato A/B e, assim, foi considerado que essa feição fosse plana, apesar de a cota de instalação desses instrumentos apresentar variação (Figura 6). A saída da rede foi a média mensal da leitura do instrumento avaliado.

Foram escolhidos os instrumentos PSF64, PSF75 e PSU19, para serem utilizados como teste do mapeamento realizado; estes instrumentos foram escolhidos procurando representar diferentes áreas do maciço de fundação.

Foram utilizados 6 nós de entrada para a rede, sendo 4 deles para que se pudesse representar adequadamente a variável Região. Essa variável de entrada foi organizada da forma como é mostrada no quadro 5, onde a posição do número 1 indica em qual região está cada piezômetro. O esquema do modelo neural usado nesta simulação pode ser observado na figura 14.

REGIÃO 1	REGIÃO 2	REGIÃO 3	REGIÃO 4
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

QUADRO 5 – REPRESENTAÇÃO DA VARIÁVEL REGIÃO, USADA COMO ENTRADA

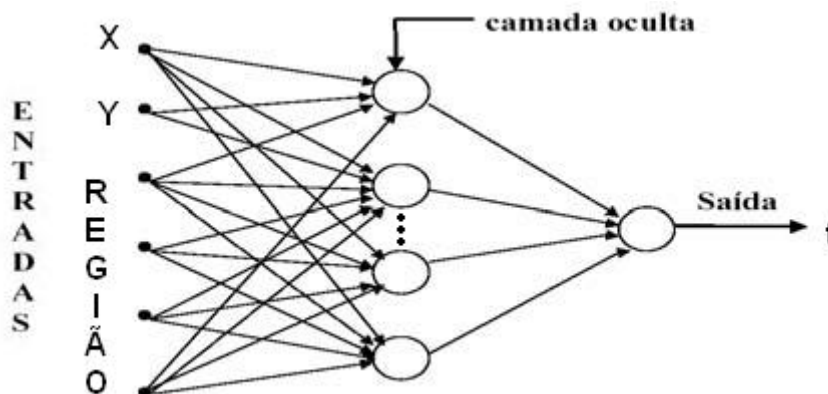


FIGURA 14 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 1

Ao término da simulação, os dados de entrada e saída ficaram organizados da forma como mostra o exemplo do piezômetro PSF64 no quadro 6, com os dados já normalizados para o intervalo 0 a 1.

INSTRUMENTO	ENTRADA		SAÍDA	
PSF64	X	0,689	Média mensal das leituras (ex: jan/00)	0,118
	Y	0,837		
	REGIÃO	0		
		1		
		0		
		0		

QUADRO 6 – EXEMPLO DE DADOS DE ENTRADA E SAÍDA

Primeiramente utilizou-se o instrumento PSF64 para testar a rede. Para a escolha da arquitetura da rede neural (número de neurônios), foi utilizado o sistema *leave one out* retirando o instrumento PSF64 dos dados de treinamento. Após escolhida a arquitetura, escolheu-se a melhor rede para cada mês de estudo (Jan/00 a Jan/01), com os dados do instrumento PSF64 usados para teste.

Repetiu-se este procedimento para os demais instrumentos (PSF75 e PSU19).

A escolha da melhor arquitetura e rede neural foi realizada da mesma forma para todos os demais modelos que envolveram a técnica das redes neurais artificiais.

3.3.1.2 Modelo 1a

Os resultados do modelo 1, como mostrado adiante, não foram muito satisfatórios. Por isso foi proposto um novo modelo, retirando a variável região dos dados de entrada, ou seja, utilizando somente as coordenadas X e Y como entrada. E as simulações foram realizadas da mesma forma, com os mesmos instrumentos do modelo 1. O esquema do modelo neural 1a encontra-se na figura 15.

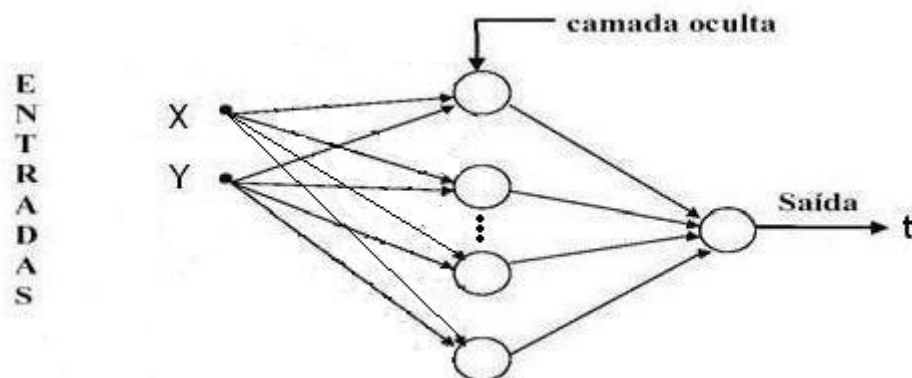


FIGURA 15 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 1a

3.3.1.3 Modelo 2

A partir deste modelo, foram utilizados os dados de toda a região de estudo (Área 2), com todos os instrumentos e todas as feições do maciço de fundação. E os instrumentos usados para teste foram: PSF32, PSF65, PSF113, PSU16, PSU67 e PSH51.

Nesta simulação, foi realizado o mapeamento espacial tridimensional da piezometria da barragem, ou seja, os dados de entrada foram as coordenadas dos instrumentos e sua cota (X, Y e Z) e a saída foi a média mensal das leituras dos instrumentos (t). O esquema do modelo neural 2 encontra-se na figura 16.

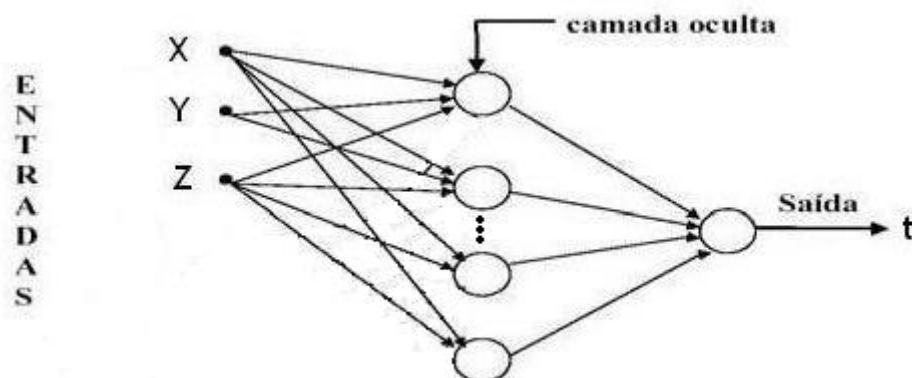


FIGURA 16 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 2

Foram realizados seis simulações, onde a diferença entre cada uma delas era o instrumento que foi utilizado como teste (PSF32, PSF65, PSF113, PSU16, PSU67 e PSH51). Em cada simulação foi escolhida a melhor arquitetura e melhor rede neural.

3.3.1.4 Modelo 3

Neste caso, foi realizado o mapeamento espaço-temporal da barragem, ou seja, introduziu-se no modelo a variável temporal relacionada à leitura anterior dos instrumentos analisados, além das entradas relacionadas à localização destes instrumentos. Os dados de entrada para a rede neural foram as coordenadas dos instrumentos, a sua cota e também a média mensal das leituras do mês anterior ao da saída, chamada de “t-1”, (X, Y, Z e t-1) e a saída foi a média mensal das leituras dos instrumentos para o mês atual (t). O esquema do modelo neural 3 encontra-se na figura 17.

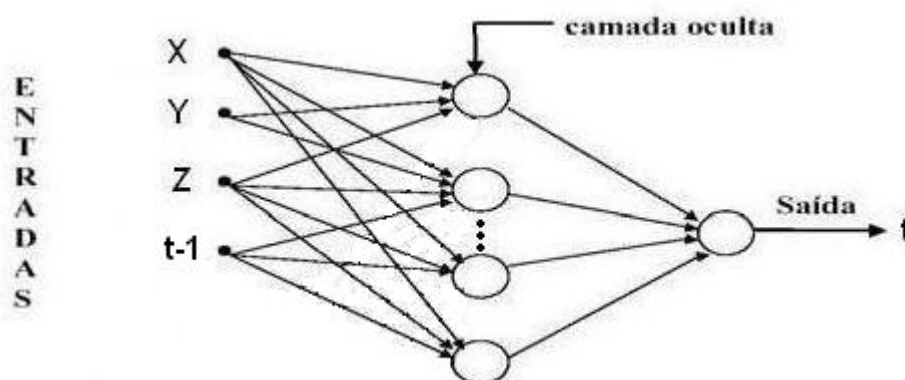


FIGURA 17 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 3

Foram realizadas seis simulações com os mesmos instrumentos da simulação anterior.

3.3.1.5 Modelo 4

Neste caso, também foi realizado o mapeamento espaço-temporal, como no Modelo 3, apenas sendo adicionalmente inserido, nos dados de entrada, além da leitura no mês anterior ao da saída, a leitura de dois meses antes do dado de saída, chamada de “t-2”, ficando o vetor de entrada (X, Y, Z, t-1 e t-2). E como nos outros casos, a saída foi a média mensal das leituras dos instrumentos (t). O esquema do modelo neural 3 encontra-se na figura 18.

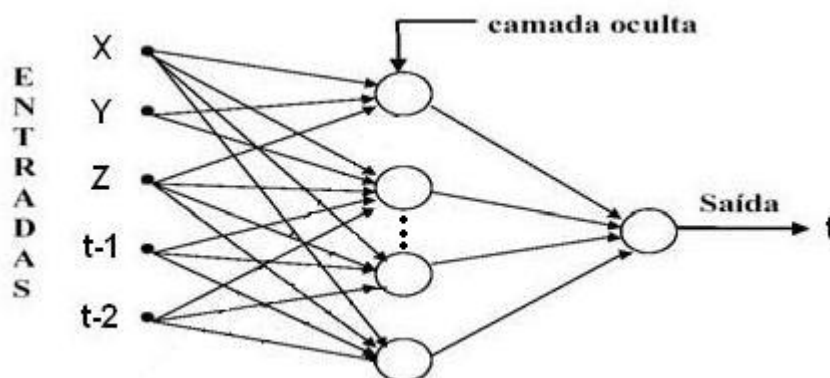


FIGURA 18 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 4

Os resultados obtidos até aqui, referentes aos modelos 2 a 4, não foram muito satisfatórios, principalmente para o modelo 2, onde os dados de entrada foram somente as coordenadas X e Y e a cota Z.

A explicação para isso poderia ser as diferentes magnitudes de leituras dos instrumentos, que estão instalados em diferentes feições e cotas. Na área 2, existem instrumentos com níveis piezométricos de 18,450 m a 216,460 m, como mostra a figura 19 para os piezômetros PSF33 E PSF36. Nota-se também que os instrumentos possuem diferente comportamento, sendo a variação das leituras bastante intensa. Contudo, esta variação é de grande interesse aos estudos geotécnicos e à segurança da barragem.

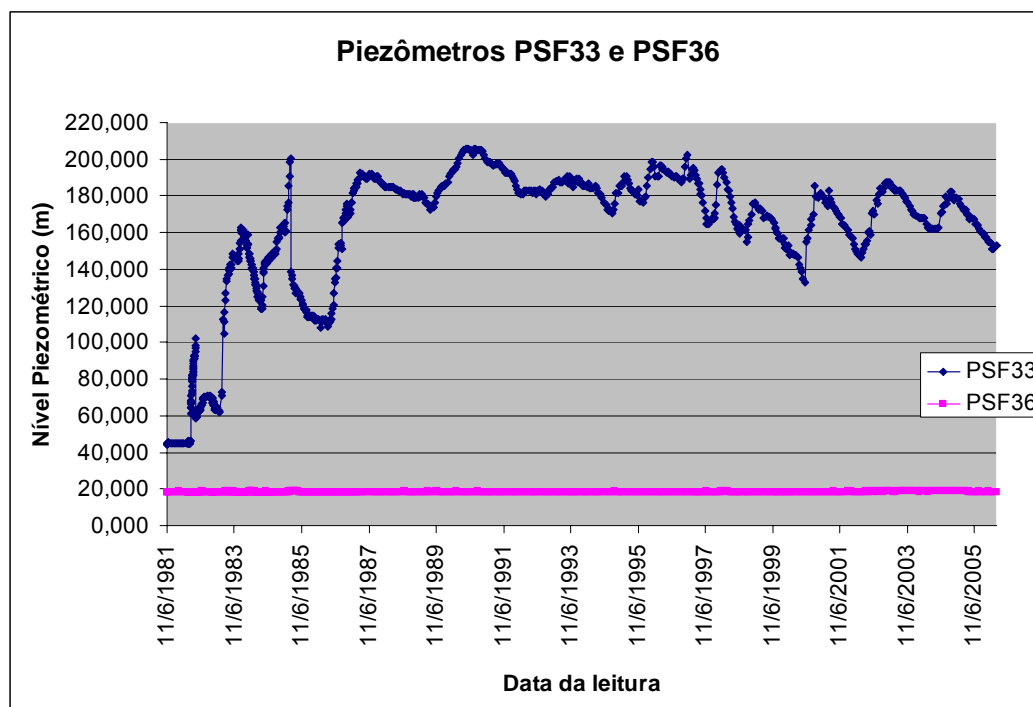


FIGURA 19 – LEITURAS DOS PIEZÔMETROS PSF33 E PSF36

Por isso, optou-se por utilizar como saída do modelo, nos modelos neurais seguintes (5 a 7), a variação das leituras de cada instrumento, denominado aqui de gradiente de leituras, e não a leitura propriamente dita. Este gradiente foi calculado como a leitura média anterior $t_{(n-i)}$ menos a leitura média $t_{(n-i-1)}$. Com isso, elimina-se a grande diferença entre leituras de diferentes instrumentos, mas conserva-se a variabilidade temporal de leituras, fundamental para a detecção de mudanças no comportamento da barragem ou dos instrumentos.

E para chegar ao resultado final, que é a média mensal da leitura dos instrumentos, previu-se qual a variação de leitura de um mês para outro (gradiente) e somou-se a essa variação a leitura do mês anterior, tendo como resultado a média mensal em estudo.

3.3.1.6 Modelo 5

Este modelo foi espacial, semelhante ao modelo 2, somente modificando os dados de saída, utilizando o gradiente de leituras. Ou seja, os dados de entrada para o modelo foram as coordenadas dos instrumentos e a sua cota (X, Y e Z) e a saída

foi o gradiente de leituras para o tempo atual t , chamado de “ g ”. O esquema do modelo neural 5 encontra-se na figura 20.

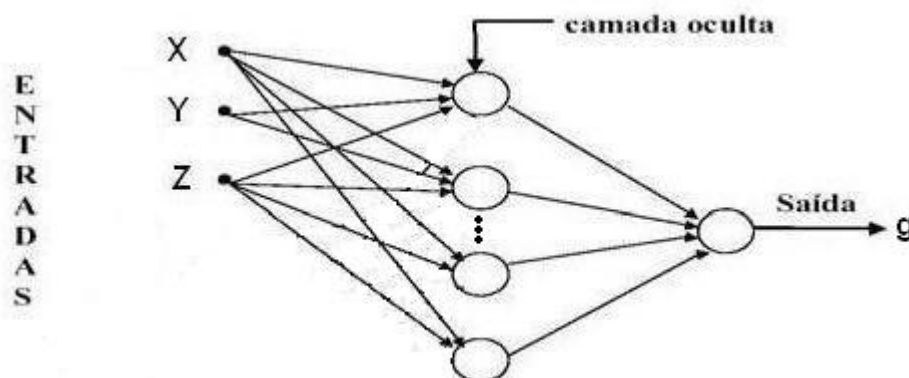


FIGURA 20 - ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 5

3.3.1.7 Modelo 6

Este modelo foi espaço-temporal, semelhante ao modelo 3, modificando os dados de entrada e saída, utilizando o gradiente de leituras no lugar das leituras. Ou seja, os dados de entrada para o modelo foram as coordenadas dos instrumentos, a sua cota e também a média mensal do gradiente de leituras anterior ao período do dado de saída, chamado de “ $g-1$ ” (X, Y, Z e $g-1$) e a saída foi o gradiente de leituras (g). O esquema do modelo neural 6 encontra-se na figura 21.

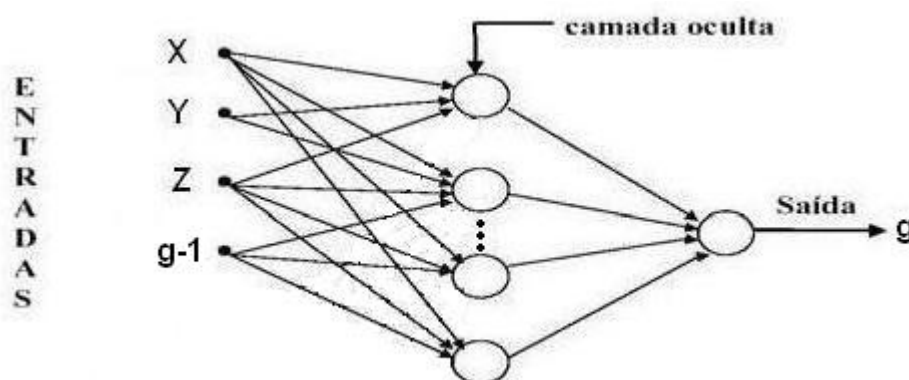


FIGURA 21 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 6

3.3.1.8 Modelo 7

Este modelo foi espaço-temporal, semelhante ao modelo 4, modificando os dados de entrada e saída, utilizando o gradiente de leituras no lugar das leituras. Ou seja, os dados de entrada para o modelo foram as coordenadas dos instrumentos, a sua cota, média mensal do gradiente de leituras anterior ao período do dado de saída, e a média mensal do gradiente de leituras de dois meses antes do dado de saída, chamado de “g-2” (X, Y, Z, g-1 e g-2) e a saída foi o gradiente de leituras (g). O esquema do modelo neural 7 encontra-se na figura 22.

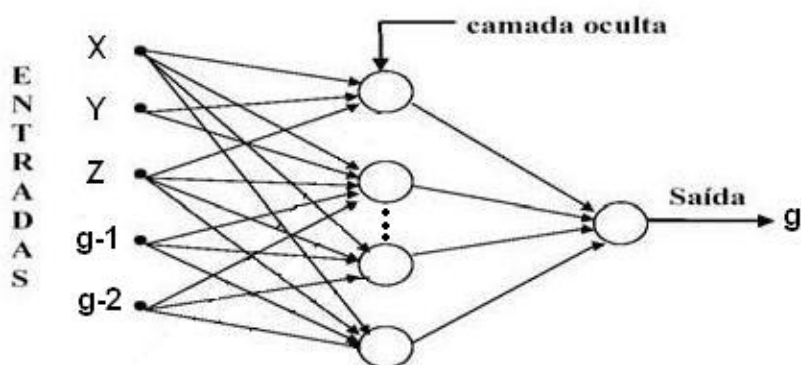


FIGURA 22 – ESQUEMA DE RNA USADA NO MODELO 7

3.3.2 Geoestatística

Para as análises geoestatísticas foi utilizado o ambiente estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2006) e o pacote geoR (RIBEIRO & DIGGLE, 2001). Este ambiente computacional permite a manipulação, o cálculo e a exposição gráfica de dados. As rotinas utilizadas nas análises encontram-se no Apêndice 2.

3.3.2.1 Modelo 8

Este modelo foi realizado para comparar os métodos de redes neurais artificiais e geoestatística e, por isso, foi realizada de maneira semelhante ao modelo

neural 1, com a mesma área de estudo (área 1), os mesmos 28 instrumentos e os mesmos dados de entrada e saída para o modelo (X, Y, t). Também foi desconsiderada a cota “Z” dos instrumentos por eles estarem na mesma feição.

Portanto, utilizaram-se como dados de entrada para o modelo as coordenadas X e Y e a Região onde se encontra cada instrumento, pois, como já foi mencionado, o comportamento das leituras em cada região se dá de maneira diferente e o modelo geoestatístico necessitou dessa informação. Testaram-se dois modelos, um com apenas as coordenadas como dado de entrada e a média mensal das leituras como saída; e no outro foi adicionada a região como dado de entrada e através do critério da verossimilhança escolheu-se o segundo modelo. E a predição espacial foi realizada através da krigagem.

Nesta simulação foram testados os instrumentos PSF64, PSF75 e PSU19, onde em cada exemplo um desses instrumentos era retirado da simulação e depois comparado seu resultado de predição com o resultado real.

3.3.3 Resumo dos modelos realizados

O quadro 7 mostra em cada uma das áreas de estudo (1 e 2) o número de instrumentos utilizados, feição geológica em que estão estes instrumentos e quais modelos foram aplicados em cada uma dessas áreas.

ÁREA	NÚMERO DE INSTRUMENTOS	FEIÇÃO	MODELOS
1	28	Contato A/B	1, 1a e 8
2	206	Todas	2, 3, 4, 5, 6 e 7

QUADRO 7 – INFORMAÇÕES DAS ÁREAS ESTUDADAS

O quadro 8 consiste num resumo de todos os modelos avaliados, mostrando os parâmetros de entrada e saída utilizados em cada um deles (modelo 1 a 8).

PARÂMETROS		MODELOS								
		REDES NEURAIS ARTIFICIAIS								GEOESTATÍSTICA
		1	1a	2	3	4	5	6	7	8
ENTRADA	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Y	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Z	-	-	x	x	x	x	x	x	-
	REGIÃO	x	-	-	-	-	-	-	-	x
	t-1	-	-	-	x	x	-	-	-	-
	t-2	-	-	-	-	x	-	-	-	-
	g-1	-	-	-	-	-	-	x	x	-
	g-2	-	-	-	-	-	-	-	x	-
SAÍDA	t	x	x	x	x	x	-	-	-	x
	g	-	-	-	-	-	x	x	x	-

Legenda:

- X e Y: coordenadas UTM dos instrumentos;
- Z : cota de instalação;
- REGIÃO: indica se o instrumento está a montante da cortina de injeção de montante (1), entre a cortina de injeção de montante e a linha de drenos de montante (2), entre as linhas de drenos de montante e de jusante (3) ou entre a linha de drenos e a cortina de jusante (4);
- (t-1): média mensal das leituras do mês anterior ao estudado;
- (t-2): média mensal das leituras de dois meses antes do estudado;
- (g-1): média mensal do gradiente de leituras anterior ao período do dado de saída;
- (g-2): média mensal do gradiente de leituras de dois meses antes do dado de saída;
- t: média das leituras do mês de estudo;
- g: gradiente de leituras do mês de estudo

QUADRO 8 – PARÂMETROS DE ENTRADA E SAÍDA UTILIZADOS NOS MODELOS AVALIADOS

4 RESULTADOS

Através das simulações realizadas em cada modelo, foi possível a obtenção do mapeamento espacial e espaço-temporal dos níveis piezométricos da barragem e a comparação entre as técnicas de redes neurais artificiais e geoestatística no mapeamento espacial.

4.1 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

4.1.1 Arquitetura da rede

Os modelos 1 a 7 foram estruturados usando a técnica das Redes Neurais Artificiais e, através do sistema *leave one out*, para o treinamento, foi escolhida a melhor arquitetura de rede para o modelo proposto.

No modelo 1, foram utilizados dados da Área 1, sendo as redes testadas com os instrumentos PSF64, PSF75 e PSU19. Foram elaboradas planilhas contendo o número de neurônios das redes usadas, com os respectivos erros de treinamento e teste para cada mês do período de estudo. Um exemplo do resultado dessa planilha é apresentado no quadro 9, utilizando o instrumento PSF64 como teste. Os erros mostrados na planilha são resultado da comparação de valores reais e previstos em sua forma normalizada, ou seja, se multiplicados por 100 representam um valor em porcentagem. As células marcadas (em azul ou amarelo) correspondem às redes com menor valor de erro de treinamento ou teste. A escolha da melhor arquitetura se deu levando-se em conta a minoração do erro de teste. O quadro 10 mostra a melhor arquitetura de rede (número de neurônios) para cada instrumento do modelo 1.

		NÚMERO DE NEURÔNIOS								
		1	2	3	4	...	17	18	19	20
jan/00	erro treinamento	0,004	0,002	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,008	0,011	0,087	0,118	...	0,542	1,621	0,384	0,400
fev/00	erro treinamento	0,008	0,002	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,025	0,152	0,053	0,119	...	0,689	1,061	0,935	0,452
mar/00	erro treinamento	0,007	0,001	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,009	0,010	0,083	0,075	...	0,354	0,443	0,154	0,708
abr/00	erro treinamento	0,005	0,002	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,008	0,008	0,083	0,128	...	1,637	0,642	0,296	1,440
...	
ago/00	erro treinamento	0,006	0,002	0,002	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,011	0,015	0,029	0,320	...	0,795	0,338	0,557	0,812
set/00	erro treinamento	0,004	0,002	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,036	0,522	0,098	0,151	...	0,918	0,406	0,674	0,678
out/00	erro treinamento	0,005	0,002	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,009	0,019	0,060	1,845	...	0,258	0,213	0,253	0,148
nov/00	erro treinamento	0,007	0,003	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,008	0,009	0,081	0,382	...	0,487	0,770	0,281	0,788
dez/00	erro treinamento	0,004	0,002	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,009	0,012	2,789	0,067	...	0,104	0,735	0,458	0,387
jan/01	erro treinamento	0,004	0,003	0,001	0,001	...	0,000	0,000	0,000	0,000
	erro teste	0,008	0,737	0,055	0,616	...	1,463	0,658	0,375	0,403
MENOR MÉDIA DE ERROS TREINAMENTO										
MENOR MÉDIA DE ERROS TESTE		PSF64 - MELHOR NRO DE NEURÔNIOS = 1								

QUADRO 9 – PLANILHA DE ERROS MOSTRANDO A ESCOLHA DO NÚMERO DE NEURÔNIOS (EXEMPLO COM O INSTRUMENTO DE TESTE PSF64)

INSTRUMENTO	NÚMERO DE NEURÔNIOS
PSF64	1
PSF75	1
PSU19	1

QUADRO 10 – MELHOR ARQUITETURA DE REDE PARA MODELO 1

O modelo 1a também foi realizado para a Área 1, sendo que os resultados da escolha da arquitetura desse modelo estão apresentados no quadro 11.

INSTRUMENTO	NÚMERO DE NEURÔNIOS
PSF64	3
PSF75	3
PSU19	3

QUADRO 11 – MELHOR ARQUITETURA DE REDE PARA MODELO 1a

Os modelos 2 a 7 foram desenvolvidos com os dados da Área 2, sendo testados com os instrumentos PSF32, PSF65, PSF113, PSU16, PSU67 e PSH51. As arquiteturas de RN que apresentaram o melhor desempenho para todos esses modelos, usando os mesmos critérios já descritos anteriormente, são apresentadas no quadro 12, avaliando-se os diferentes instrumentos como dado de teste.

NÚMERO DE NEURÔNIOS						
INSTRUMENTO	MODELO					
	2	3	4	5	6	7
PSF32	4	1 e 2	4	1	1	1
PSF65	3	1 e 3	3	1	1	1 e 2
PSF113	3	1	1 e 7	1	1	1
PSU16	3	1	4	1	1	1
PSU67	4	1	1, 2 e 4	1	1	2
PSH51	2	1	1	1	1	1 e 2

QUADRO 12 – MELHOR ARQUITETURA DE REDE, PARA CADA MODELO E INSTRUMENTO DE TESTE, DESENVOLVIDA PARA ÁREA 2

4.1.2 Mapeamento das subpressões da Área 2.

Neste item, são apresentados, primeiramente, os resultados do mapeamento dos modelos 2 a 7, que foram realizados na Área 2.

Os resultados são apresentados na ordem dos instrumentos que foram utilizados para teste.

Primeiramente são mostrados os resultados dos modelos utilizando os dados reais de leitura ou leitura original (modelos 2, 3 e 4) e, posteriormente, os resultados utilizando o gradiente de leituras (modelos 5, 6 e 7), para cada instrumento usado como teste.

Os resultados são apresentados em tabelas que mostram o mês de estudo, os dados reais de leitura do instrumento testado, os resultados dos modelos desenvolvidos e o erro de cada modelo. Agora, os erros são apresentados em seu valor real, ou seja, em metros. Assim, todos os dados de leituras e erros das tabelas estão em metros.

Em seguida às tabelas, são apresentados gráficos que mostram os dados reais de leituras e as predições realizadas ao longo do tempo. E, no final, são mostrados alguns exemplos de mapas que foram confeccionados para determinados instantes.

4.1.2.1 Piezômetro PSF32

a) Modelos desenvolvidos com dados de leitura original do instrumento:

LEITURA ORIGINAL – PSF32							
MÊS	REAL(m)	MODELOS					
		2 (X, Y e Z)		3 (X,Y, Z, t-1)		4 (X, Y, Z, t-1, t-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	104,200	103,386	0,814	99,019	5,181	105,280	1,080
Fev/00	105,350	115,015	9,665	104,760	0,590	105,402	0,052
Mar/00	107,200	100,080	7,120	107,553	0,353	107,087	0,113
Abr/00	107,700	100,494	7,206	107,605	0,095	107,703	0,003
Mai/00	107,600	111,962	4,362	107,908	0,308	108,401	0,801
Jun/00	105,350	108,432	3,082	109,157	3,807	106,772	1,422
Jul/00	104,100	96,075	8,025	103,964	0,136	100,688	3,412
Ago/00	104,950	97,607	7,343	105,951	1,001	103,983	0,967
Set/00	105,650	108,801	3,151	109,379	3,729	107,593	1,943
Out/00	105,700	99,182	6,518	105,173	0,527	105,725	0,025
Nov/00	105,700	107,527	1,827	104,501	1,199	104,019	1,681
Dez/00	105,500	95,040	10,460	102,995	2,505	105,757	0,257
Jan/01	105,450	101,952	3,498	102,416	3,034	106,609	1,159
ERRO MÉDIO(m)		-	5,621	-	1,728	-	0,994

QUADRO 13 – RESULTADOS DOS MODELOS 2,3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSF32

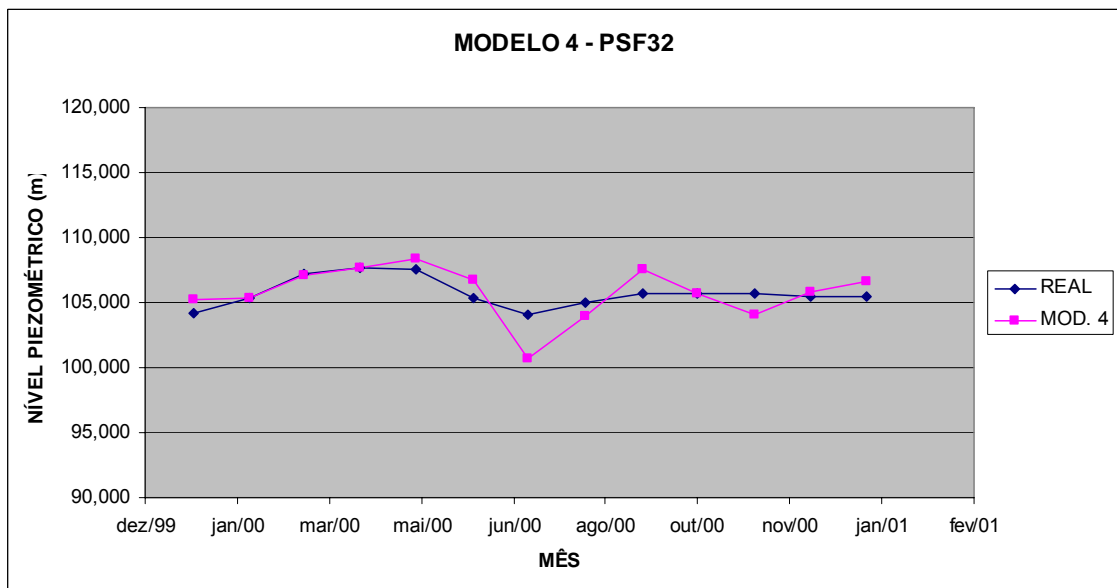
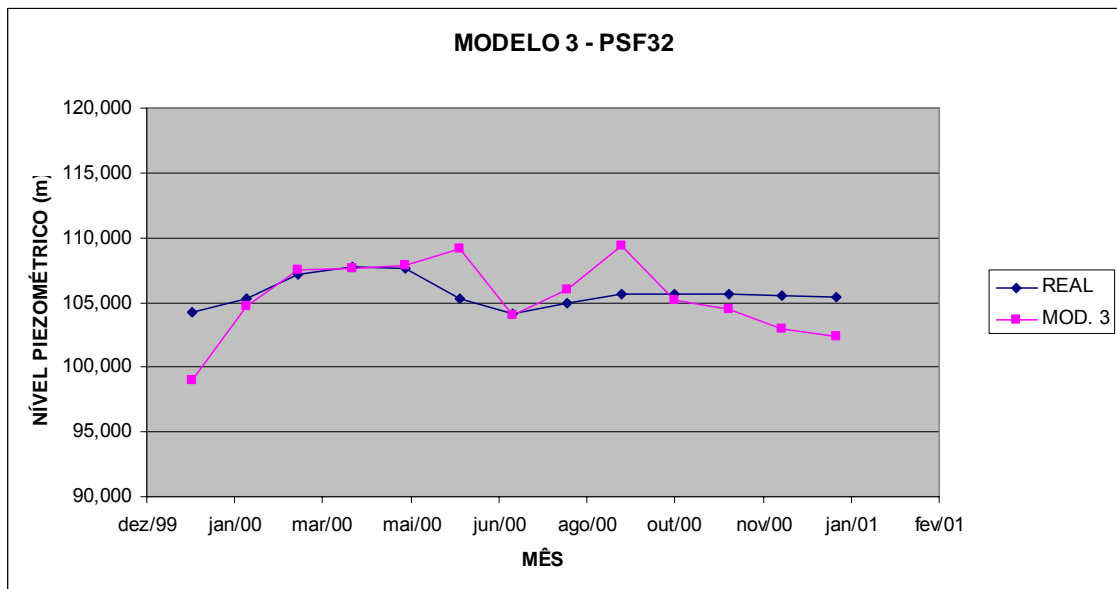
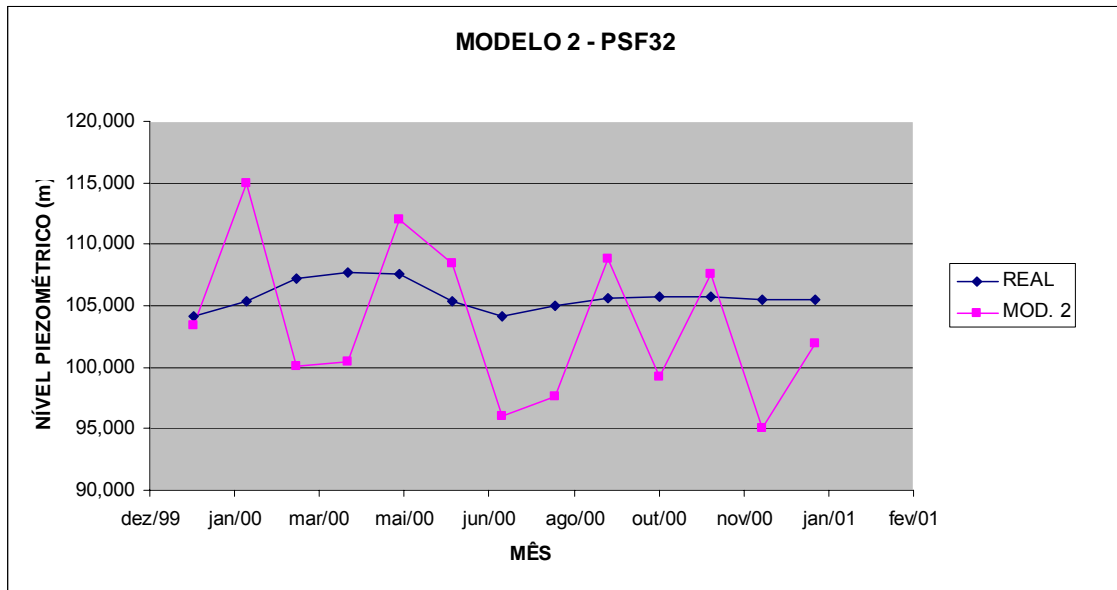


FIGURA 23 – DADOS REAIS X MODELOS 2,3 E 4 – PSF32

b) Modelos desenvolvidos com dados de gradiente de leituras do instrumento:

GRADIENTE – PSF32							
MÊS	REAL(m)	MODELOS					
		5 (X, Y e Z)		6 (X,Y, Z, g-1)		7 (X, Y, Z, g-1, g-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	104,200	-	-	-	-	-	-
Fev/00	105,350	104,357	0,993	104,300	1,050	105,048	0,302
Mar/00	107,200	106,170	1,030	107,005	0,195	107,576	0,376
Abr/00	107,700	107,889	0,189	108,892	1,192	107,547	0,153
Mai/00	107,600	108,224	0,624	109,575	1,975	107,715	0,115
Jun/00	105,350	110,756	5,406	108,501	3,151	107,628	2,278
Jul/00	104,100	106,348	2,248	105,369	1,269	105,415	1,315
Ago/00	104,950	112,267	7,317	104,929	0,021	105,536	0,586
Set/00	105,650	107,636	1,986	106,400	0,750	105,465	0,185
Out/00	105,700	105,516	0,184	105,620	0,080	105,587	0,113
Nov/00	105,700	102,969	2,731	102,661	3,039	105,640	0,060
Dez/00	105,500	102,447	3,053	105,412	0,088	105,516	0,016
Jan/01	105,450	101,984	3,466	104,861	0,589	105,105	0,345
ERRO MÉDIO (m)		-	2,436	-	1,116	-	0,487

QUADRO 14 – RESULTADOS DOS MODELOS 5,6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSF32

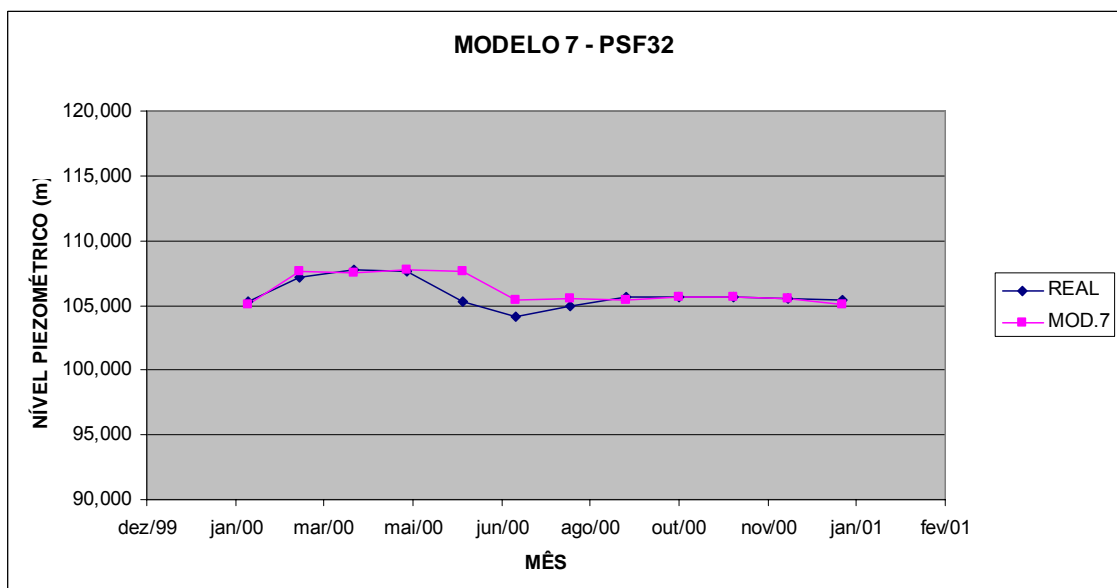
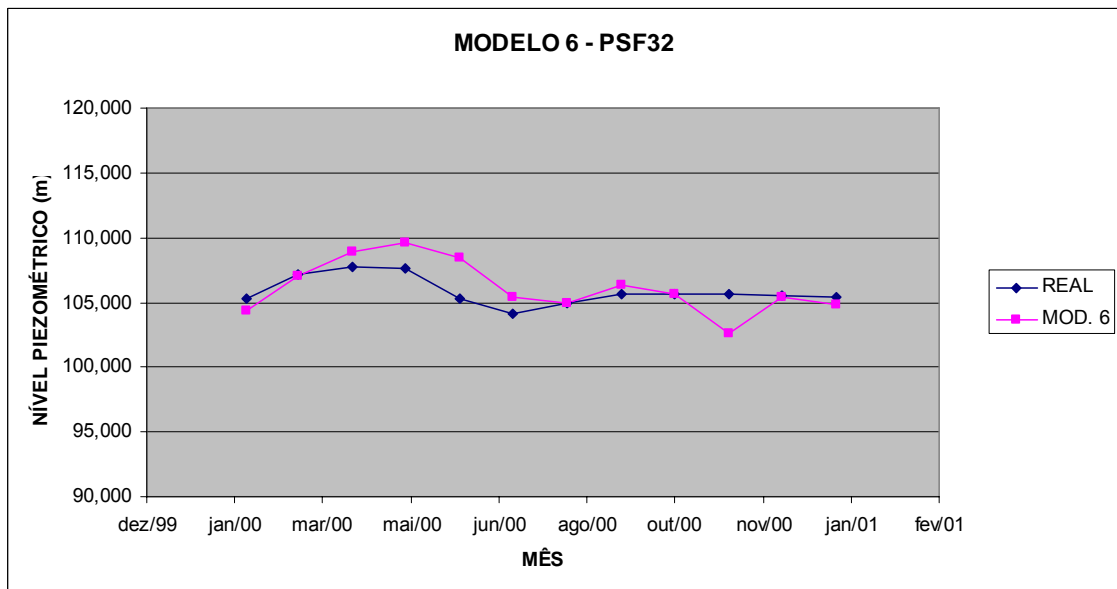
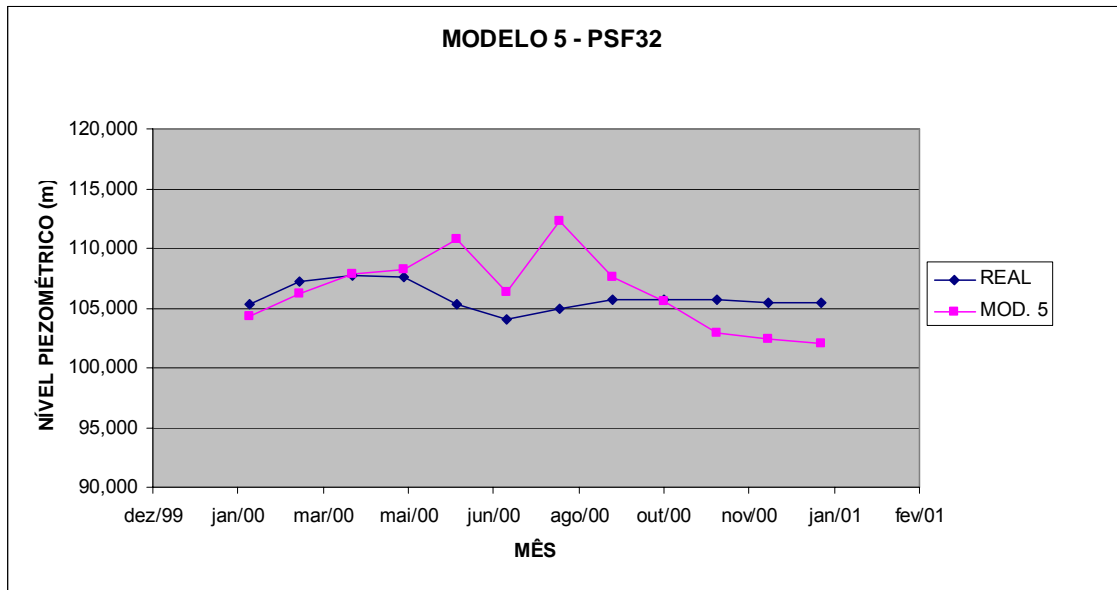


FIGURA 24 – DADOS REAIS X MODELOS 5,6 E 7 – PSF32

Neste instrumento, observa-se que o erro médio para o modelo 2, que é somente espacial, foi alto (5,621 m) e, com a inclusão das leituras passadas, o erro médio caiu significativamente, sendo 1,728m para o modelo 3, que tem uma leitura passada nos dados de entrada ($t-1$), e 0,994m para o modelo 4, sendo que esse modelo tem duas leituras passadas nos dados de entrada ($t-1$ e $t-2$). Esta diminuição nos erros deve-se ao fato de se apresentar à rede a informação de tendência de subida ou descida nas leituras dos instrumentos.

E, com a troca das leituras originais dos instrumentos para o gradiente de leituras, tanto nos dados de entrada como nos dados de saída, o erro diminuiu mais ainda, sendo 2,436m para o modelo 5 (que é semelhante ao modelo 2), 1,116m para o modelo 6 (semelhante ao modelo 4) e 0,487m para o modelo 7 (semelhante ao modelo 4). Isso ocorreu devido ao fato de se enfatizar ao modelo neural a variação de leituras e não o seu valor original. Assim, com a normalização de leituras, esta variação fica melhor preservada no conjunto de dados, como já descrito no capítulo 3.

4.1.2.2 Piezômetro PSF65

a) Modelos desenvolvidos com dados de leitura original do instrumento:

LEITURA ORIGINAL – PSF65							
MÊS	REAL(m)	MODELOS					
		2 (X, Y e Z)		3 (X,Y, Z, t-1)		4 (X, Y, Z, t-1, t-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	30,960	33,603	2,643	30,836	0,124	30,647	0,313
Fev/00	30,950	33,684	2,734	31,098	0,148	31,141	0,191
Mar/00	30,975	34,619	3,644	30,873	0,102	31,053	0,078
Abr/00	30,935	33,761	2,826	30,758	0,177	30,993	0,058
Mai/00	30,970	33,637	2,667	30,945	0,025	31,017	0,047
Jun/00	30,980	33,362	2,382	31,043	0,063	30,991	0,011
Jul/00	30,965	33,339	2,374	30,885	0,080	31,133	0,168
Ago/00	30,960	30,618	0,342	30,811	0,149	31,030	0,070
Set/00	30,965	34,022	3,057	30,866	0,099	30,821	0,144
Out/00	30,995	33,465	2,470	30,827	0,168	30,793	0,202
Nov/00	30,995	35,522	4,527	30,629	0,366	31,141	0,146
Dez/00	30,990	33,288	2,298	31,022	0,032	31,100	0,110
Jan/01	31,000	35,886	4,886	31,088	0,088	31,135	0,135
ERRO MÉDIO (m)		-	2,835	-	0,125	-	0,129

QUADRO 15 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSF65

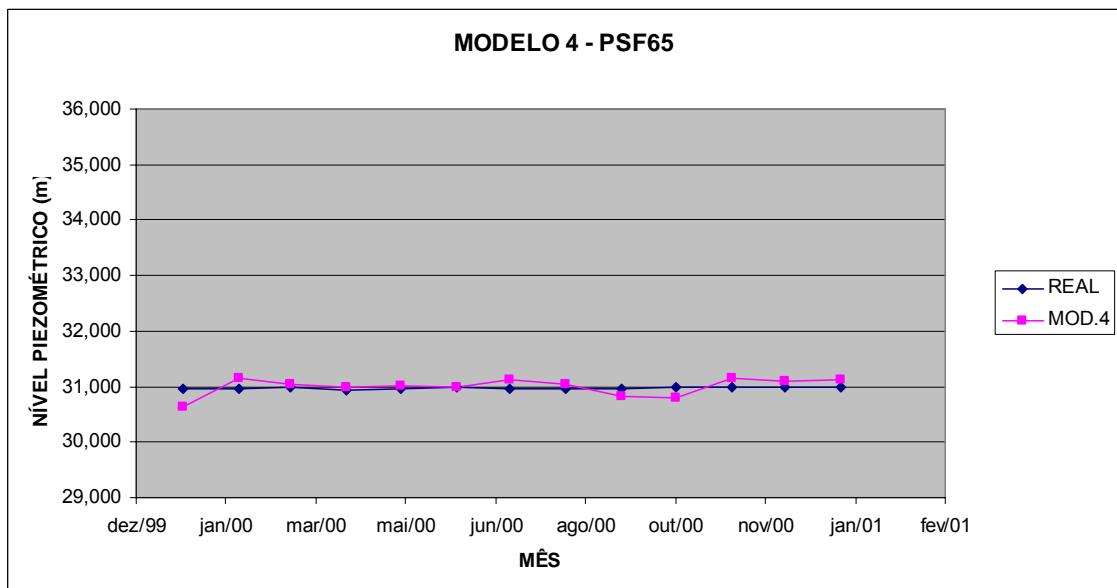
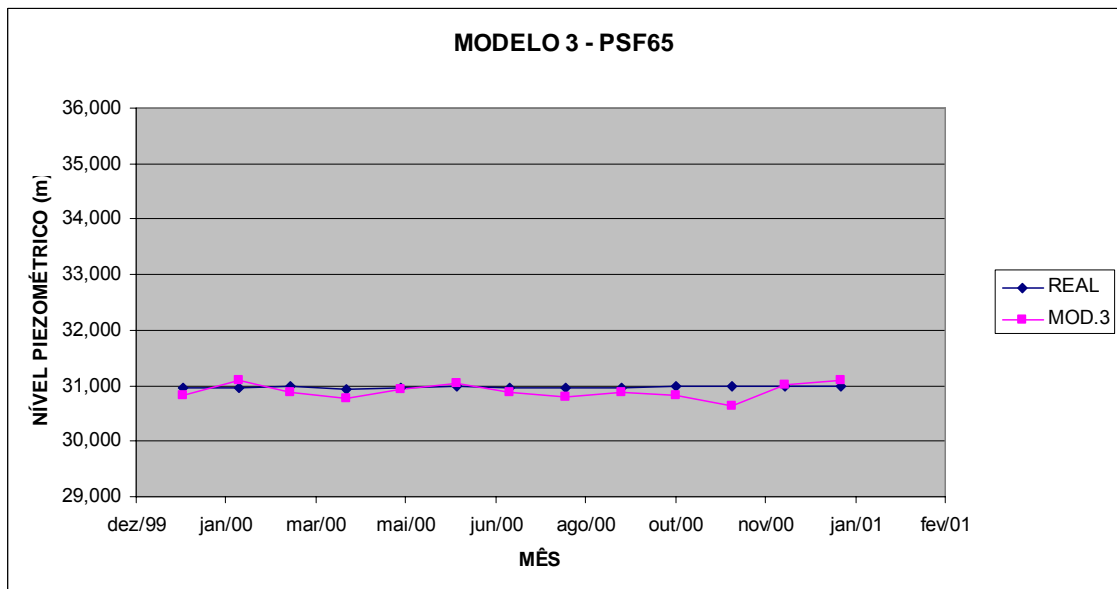
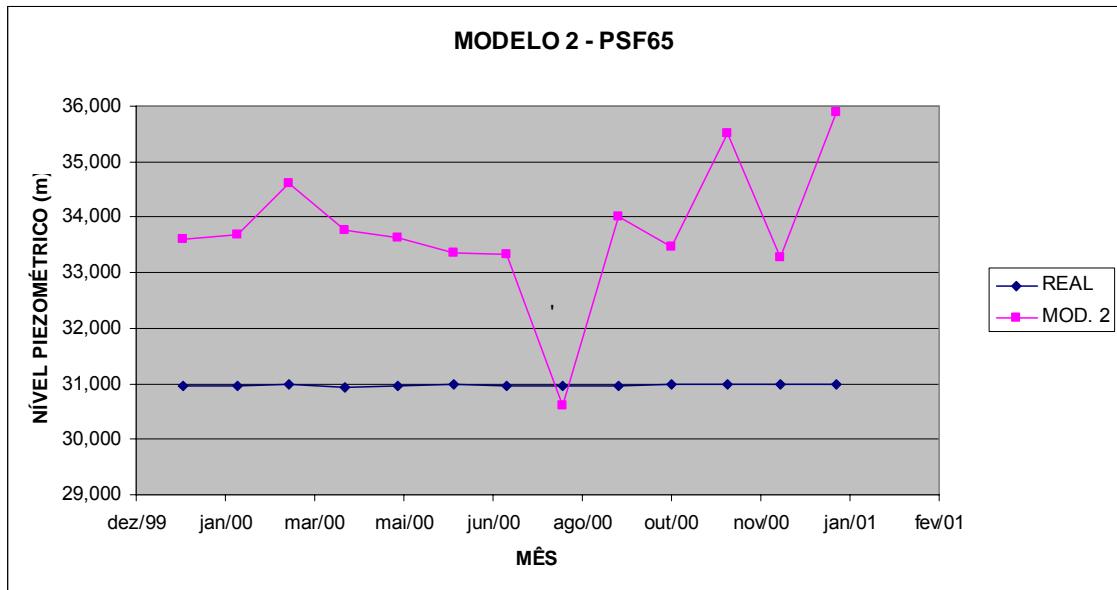


FIGURA 25 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSF65

b) Modelos desenvolvidos com dados de gradiente de leituras do instrumento:

GRADIENTE – PSF65							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		5 (X, Y e Z)		6 (X,Y, Z, g-1)		7 (X, Y, Z, g-1, g-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	30,960	-	-	-	-	-	-
Fev/00	30,950	30,942	0,008	31,069	0,119	31,050	0,100
Mar/00	30,975	31,022	0,047	31,002	0,027	30,990	0,015
Abr/00	30,935	30,999	0,064	30,998	0,063	30,994	0,059
Mai/00	30,970	30,833	0,137	30,951	0,019	30,874	0,096
Jun/00	30,980	30,978	0,002	31,050	0,070	30,977	0,003
Jul/00	30,965	31,157	0,192	31,000	0,035	31,066	0,101
Ago/00	30,960	31,060	0,100	31,078	0,118	31,028	0,068
Set/00	30,965	31,220	0,255	31,412	0,447	31,137	0,172
Out/00	30,995	30,831	0,164	30,912	0,083	31,002	0,007
Nov/00	30,995	30,893	0,102	30,888	0,107	30,945	0,050
Dez/00	30,990	30,885	0,105	30,898	0,092	30,934	0,056
Jan/01	31,000	31,098	0,098	31,221	0,221	31,052	0,052
ERRO MÉDIO (m)		-	0,106	-	0,117	-	0,065

QUADRO 16 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSF65

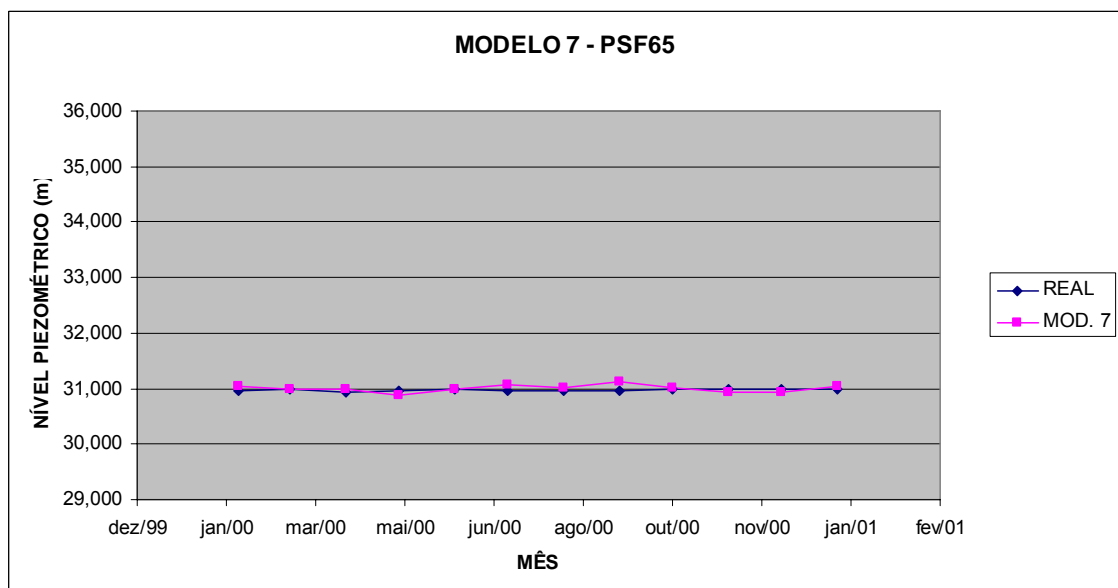
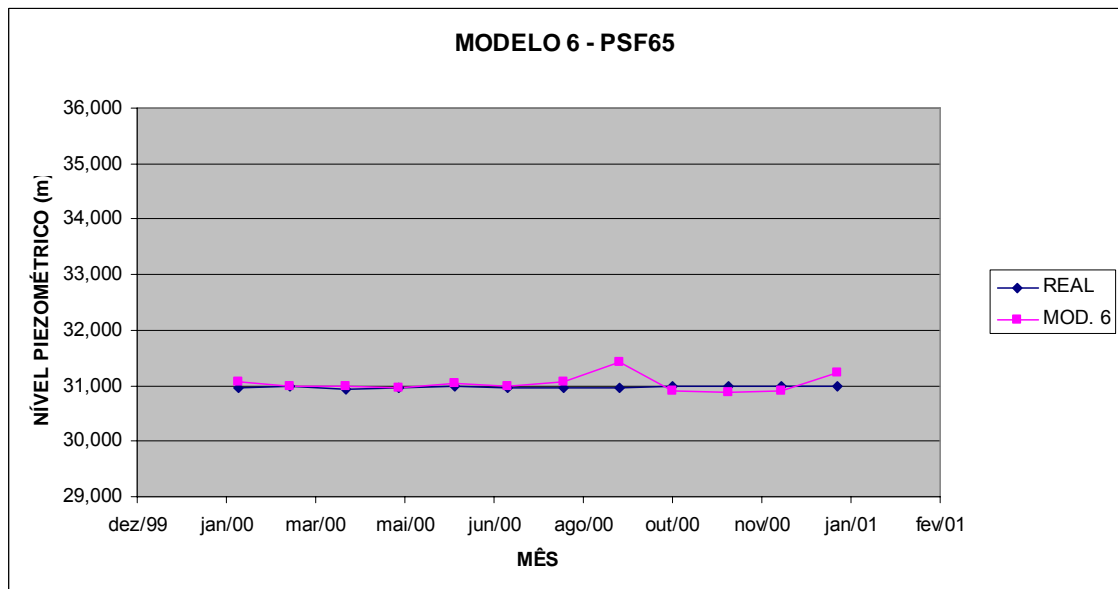
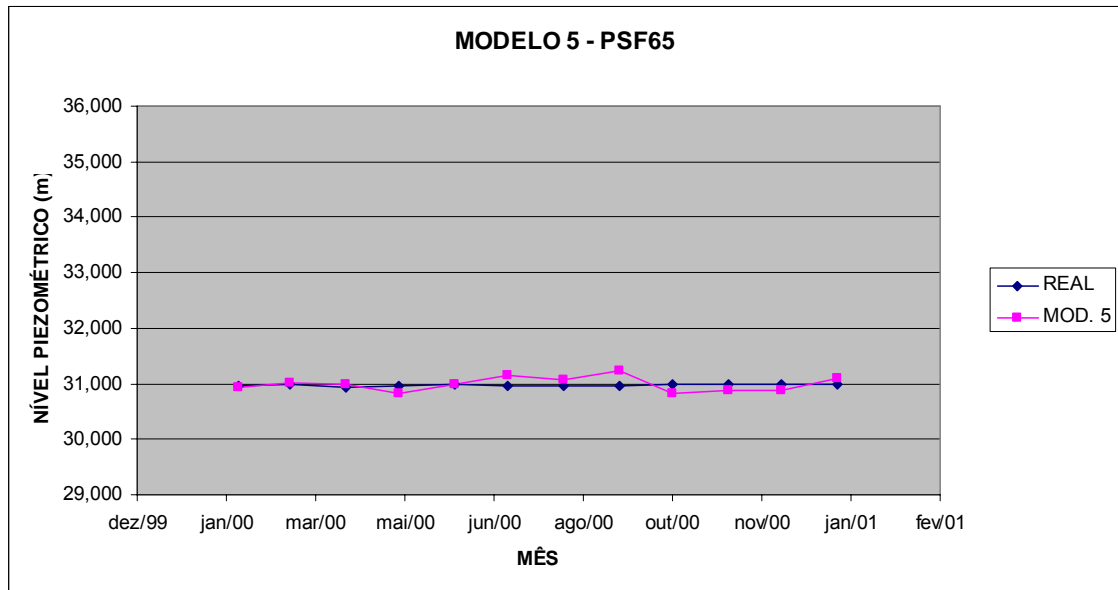


FIGURA 26 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSF65

No Piezômetro PSF65, observa-se que erro médio para o modelo 2 foi alto (2,835m), mas foi menor comparado ao piezômetro PSF32 (5,621m), e também ocorreu a diminuição do erro médio com a inclusão das leituras passadas, com 0,125m para o modelo 3, e um erro médio bem próximo para o modelo 4, que foi de 0,129m. Deve-se ainda observar que as leituras originais do instrumento PSF65 apresentam pouquíssima variabilidade ao longo do período estudado, o que gerou modelos neurais muito simples.

Utilizando os dados de gradiente, o erro médio foi pequeno, para todos os modelos, 0,106m para o modelo 2, 0,117m para o modelo 3 e 0,065m para o modelo 4.

4.1.2.3 Piezômetro PSF113

a) Modelos desenvolvidos com dados de leitura original do instrumento:

LEITURA ORIGINAL – PSF113							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		2 (X, Y e Z)		3 (X,Y, Z, t-1)		4 (X, Y, Z, t-1, t-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	153,670	152,613	1,057	160,014	6,344	151,770	1,900
Fev/00	152,970	147,706	5,264	153,743	0,773	152,800	0,170
Mar/00	155,745	149,119	6,626	154,422	1,323	155,221	0,524
Abr/00	160,945	154,127	6,818	157,002	3,943	160,773	0,172
Mai/00	158,290	149,795	8,495	162,283	3,993	159,205	0,915
Jun/00	168,195	170,010	1,815	162,609	5,586	159,427	8,768
Jul/00	181,390	170,961	10,429	176,592	4,798	186,746	5,356
Ago/00	190,070	158,793	31,277	188,911	1,159	191,370	1,300
Set/00	192,445	161,938	30,507	192,285	0,160	194,478	2,033
Out/00	189,370	157,963	31,407	192,254	2,884	191,237	1,867
Nov/00	185,370	163,411	21,959	186,578	1,208	185,848	0,478
Dez/00	182,020	154,298	27,722	182,056	0,036	181,972	0,048
Jan/01	178,003	154,167	23,836	179,323	1,320	178,708	0,705
ERRO MÉDIO (m)		-	15,939	-	2,579	-	1,864

QUADRO 17 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSF113

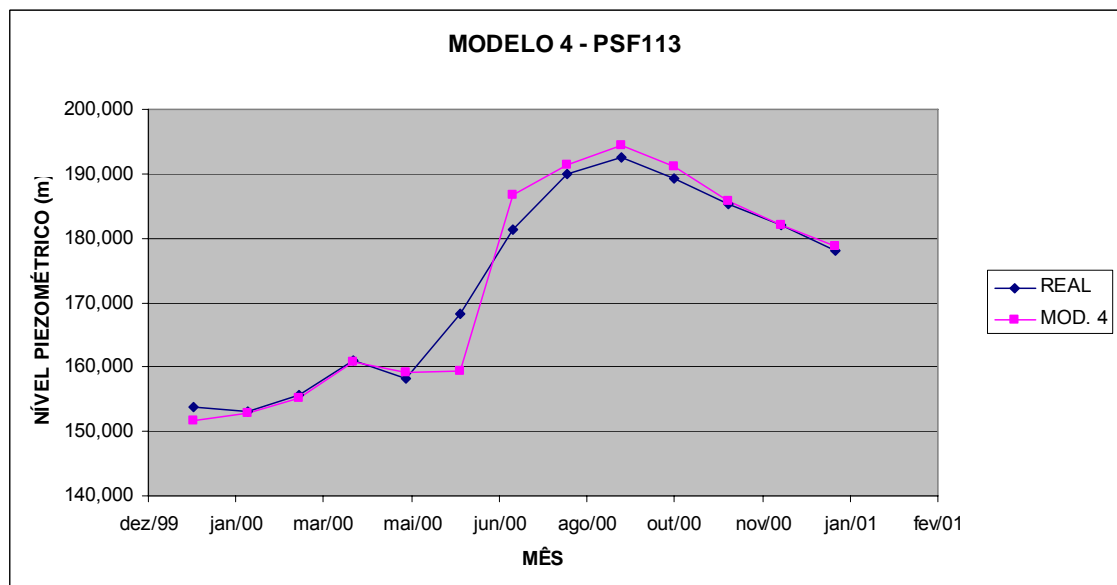
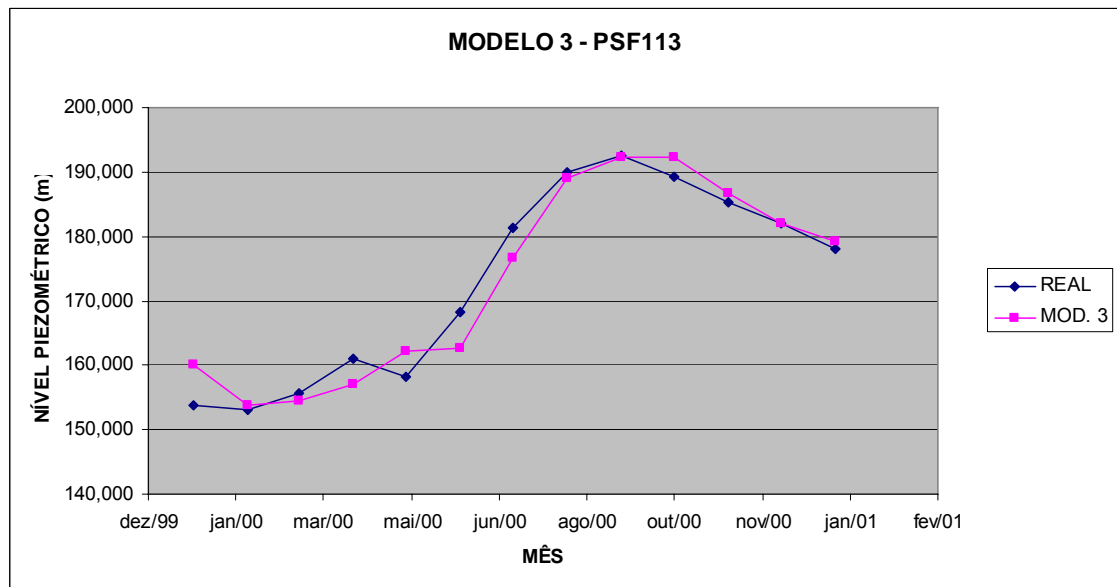
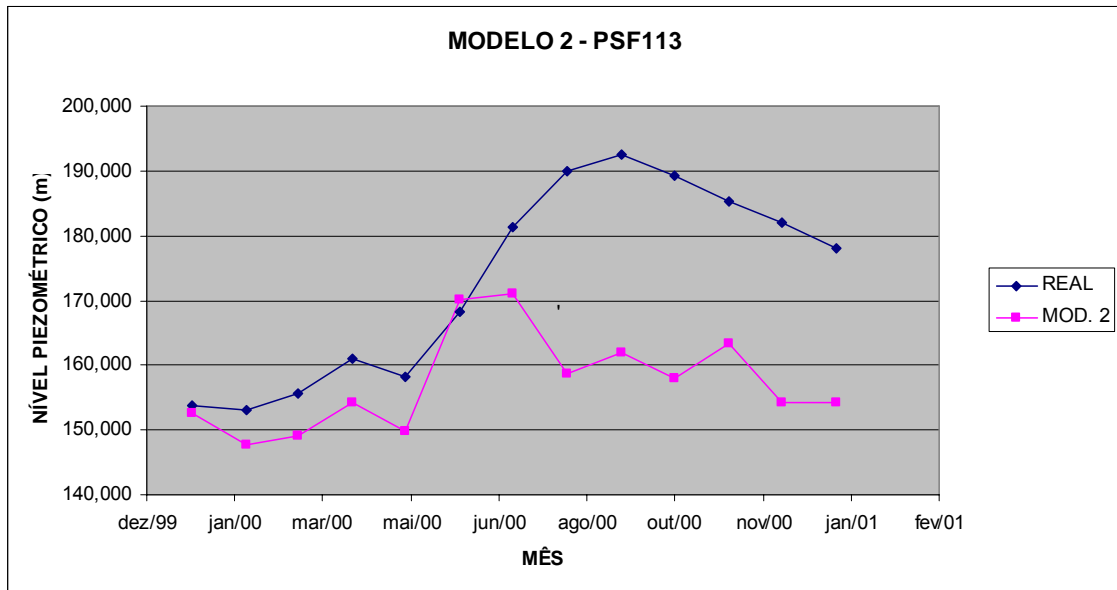


FIGURA 27 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSF113

b) Modelos desenvolvidos com dados de gradiente de leituras do instrumento:

GRADIENTE – PSF113							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		5 (X, Y e Z)		6 (X,Y, Z, g-1)		7 (X, Y, Z, g-1, g-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	-	-	-	-	-	-	-
Fev/00	152,970	153,652	0,682	152,408	0,562	149,510	3,460
Mar/00	155,745	153,053	2,692	153,053	2,692	152,705	3,040
Abr/00	160,945	156,248	4,697	155,817	5,128	154,855	6,090
Mai/00	158,290	161,566	3,276	165,420	7,130	158,290	0,000
Jun/00	168,195	160,883	7,312	158,320	9,875	156,040	12,155
Jul/00	181,390	168,311	13,079	186,046	4,656	165,545	15,845
Ago/00	190,070	181,491	8,579	197,938	7,868	180,665	9,405
Set/00	192,445	190,332	2,113	193,356	0,911	189,105	3,340
Out/00	189,370	192,331	2,961	192,408	3,038	186,840	2,530
Nov/00	185,370	188,969	3,599	185,309	0,061	180,680	4,690
Dez/00	182,020	185,289	3,269	185,277	3,257	174,245	7,775
Jan/01	178,003	182,149	4,146	179,221	1,218	169,925	8,078
ERRO MÉDIO (m)		-	4,700	-	3,866	-	6,367

QUADRO 18 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSF113

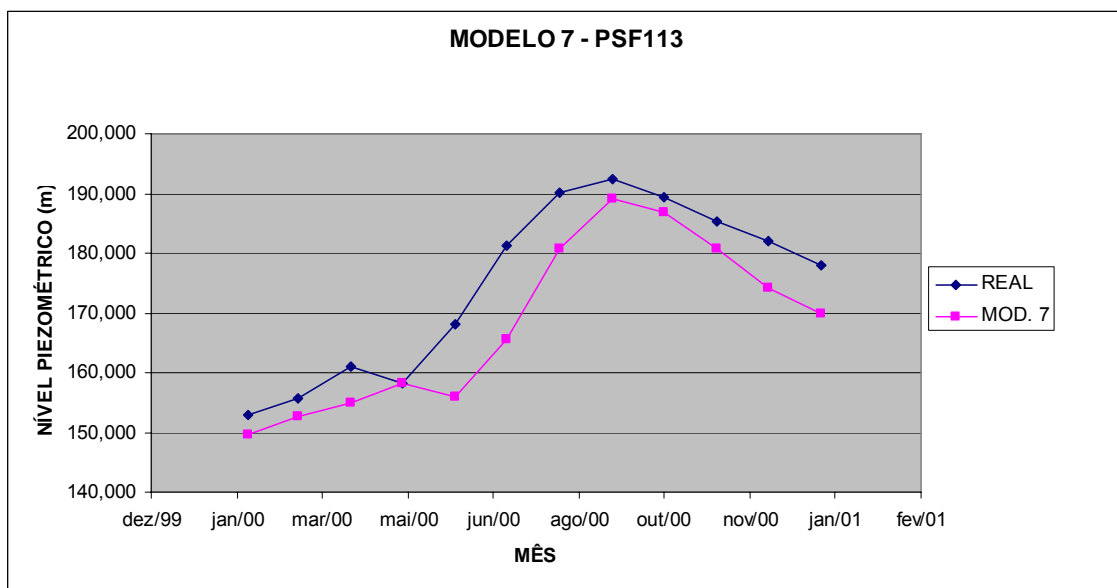
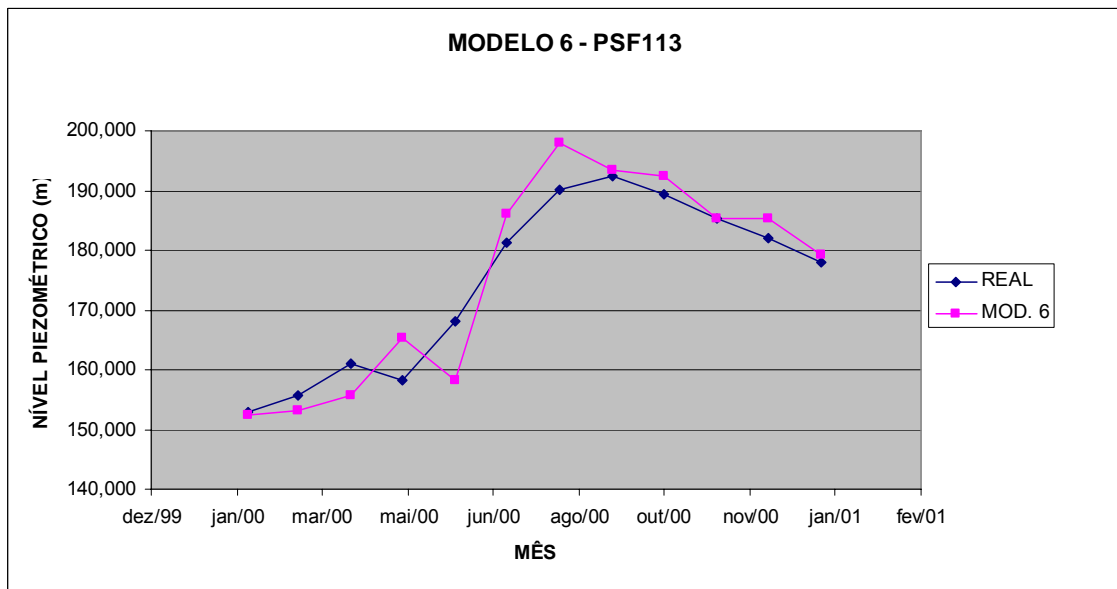
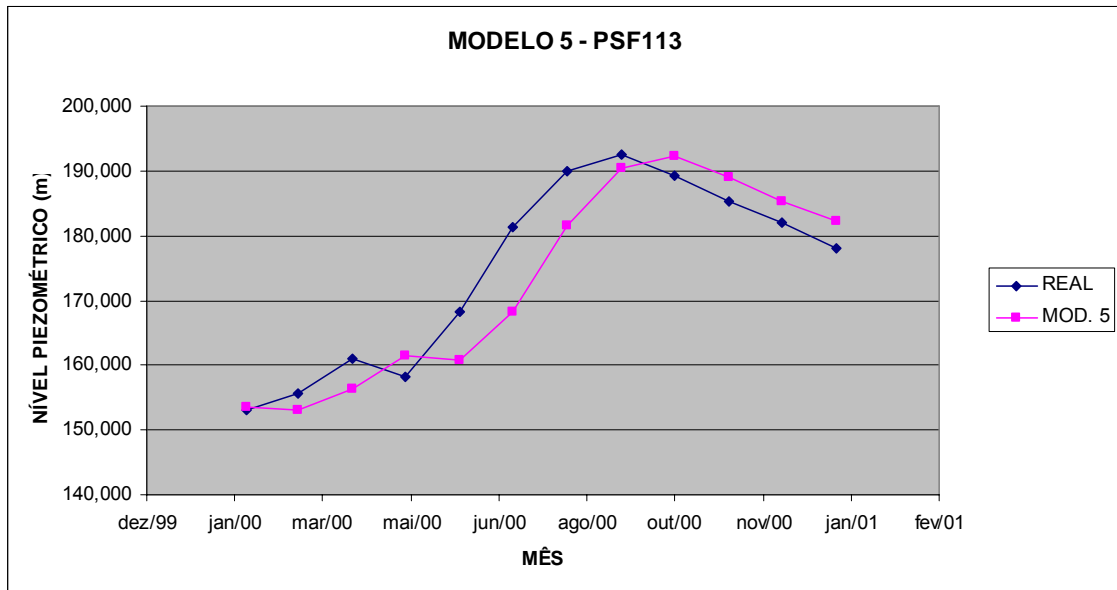


FIGURA 28 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSF113

No Piezômetro PSF113, observa-se que erro médio para o modelo 2 foi muito alto, 15,939m, superior aos outros piezômetros testados até agora. Isso se deu provavelmente devido ao valor alto das leituras originais, gerando valores normalizados de entrada da rede sem a ênfase adequada da variabilidade de leituras do instrumento. A inclusão das leituras passadas diminuiu bastante esse erro, com 2,579m para o modelo 3, e 1,864m para o modelo 4.

Neste caso, os resultados aconteceram de forma um pouco diferente em se tratando dos modelos desenvolvidos com gradientes de leituras. Comparando a utilização da leitura real e do gradiente, o erro médio diminuiu somente comparando o modelo 2 com o 5, 15,939m para 4,700m. Nos outros modelos, 6 e 7, o erro aumentou, foi para 3,866m no modelo 6 e, 6,367m no modelo 7.

4.1.2.4 Piezômetro PSU16

a) Modelos desenvolvidos com dados de leitura original do instrumento:

LEITURA ORIGINAL – PSU16							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		2 (X, Y e Z)		3 (X,Y, Z, t-1)		4 (X, Y, Z, t-1, t-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	67,440	66,395	1,045	66,867	0,573	68,073	0,633
Fev/00	67,770	63,395	4,375	67,469	0,301	67,786	0,016
Mar/00	67,660	64,188	3,472	67,495	0,165	67,878	0,218
Abr/00	67,545	65,481	2,064	67,531	0,014	67,581	0,036
Mai/00	67,505	67,153	0,352	67,193	0,312	67,483	0,022
Jun/00	68,440	65,773	2,667	67,361	1,079	68,053	0,387
Jul/00	67,635	61,475	6,160	69,249	1,614	71,022	3,387
Ago/00	68,705	65,498	3,207	68,287	0,418	67,643	1,062
Set/00	67,740	65,080	2,660	70,091	2,351	68,972	1,232
Out/00	68,080	67,922	0,158	66,773	1,307	68,737	0,657
Nov/00	68,240	69,743	1,503	67,565	0,675	67,776	0,464
Dez/00	68,425	64,959	3,466	67,838	0,587	68,647	0,222
Jan/01	68,420	68,623	0,203	68,247	0,173	68,682	0,262
ERRO MÉDIO (m)		-	2,410	-	0,736	-	0,661

QUADRO 19 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSU16

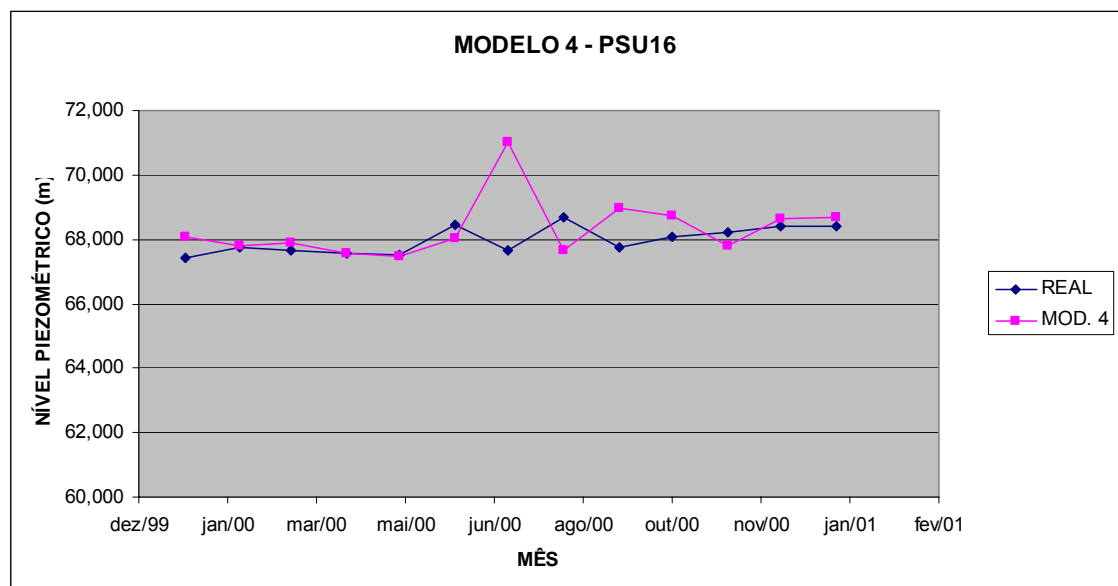
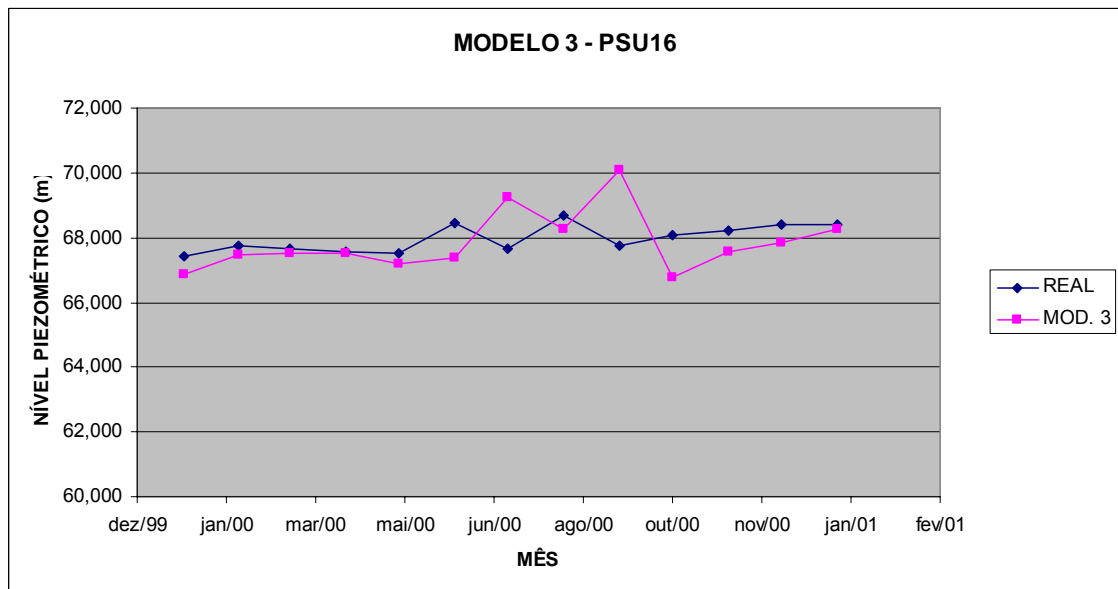
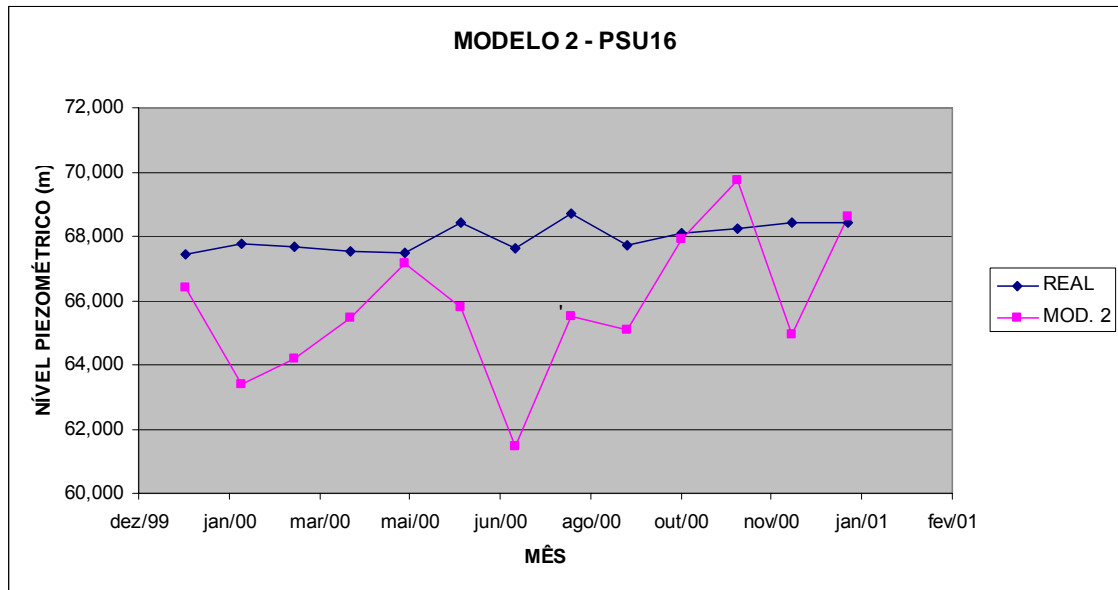


FIGURA 29 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSU16

b) Modelos desenvolvidos com dados de gradiente de leituras do instrumento:

GRADIENTE – PSU16							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		5 (X, Y e Z)		6 (X,Y, Z, g-1)		7 (X, Y, Z, g-1, g-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	-	-	-	-	-	-	-
Fev/00	67,770	67,586	0,184	67,547	0,223	67,547	0,223
Mar/00	67,660	67,845	0,185	67,877	0,217	67,833	0,173
Abr/00	67,545	67,684	0,139	67,694	0,149	67,704	0,159
Mai/00	67,505	67,504	0,001	67,461	0,044	67,459	0,046
Jun/00	68,440	67,512	0,928	67,582	0,858	67,507	0,933
Jul/00	67,635	68,621	0,986	68,602	0,967	68,557	0,922
Ago/00	68,705	67,724	0,981	67,742	0,963	67,720	0,985
Set/00	67,740	70,431	2,691	69,834	2,094	69,155	1,415
Out/00	68,080	67,579	0,501	67,691	0,389	67,696	0,384
Nov/00	68,240	67,983	0,257	67,972	0,268	68,019	0,221
Dez/00	68,425	68,129	0,296	68,270	0,155	68,214	0,211
Jan/01	68,420	68,535	0,115	68,657	0,237	68,656	0,236
ERRO MÉDIO (m)		-	0,605	-	0,547	-	0,492

QUADRO 20 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSU16

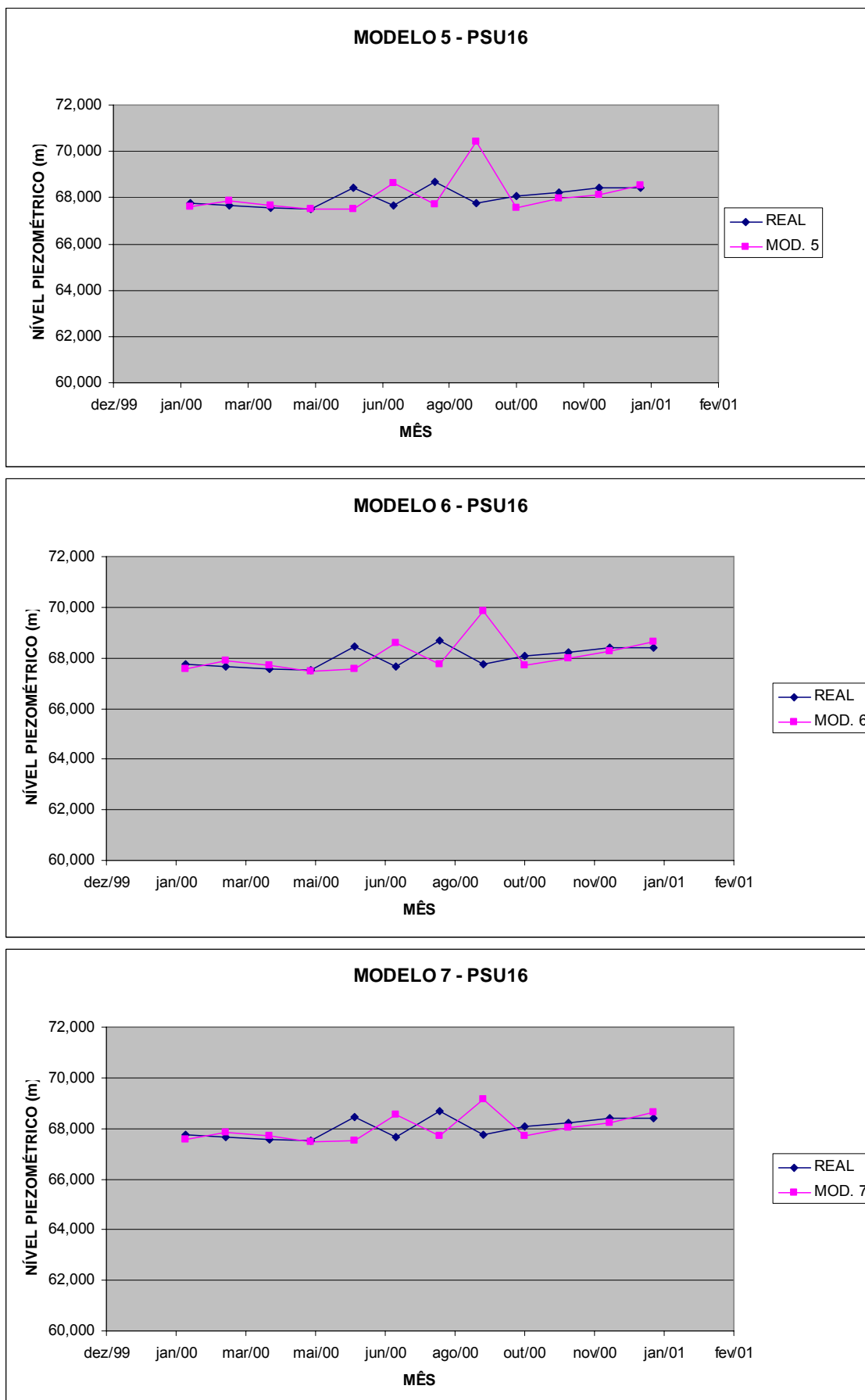


FIGURA 30 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSU16

Neste instrumento, o erro médio também diminuiu do modelo 2 ao modelo 4, o erro no modelo 2 era de 2,410m, passou para 0,736m no modelo 3 e para 0,661m no modelo 5.

E, com a utilização do gradiente, o erro também diminuiu, assim como nos instrumentos PSF32 e PSF65, com 0,605m no modelo 5, 0,547m no modelo 6 e 0,492m no modelo 7. Deve-se observar também que a curva de leituras previstas apresenta melhor comportamento do que a dos modelos desenvolvidos com as leituras originais.

Um fato curioso aparece neste exemplo: entre os meses de maio e setembro, as leituras possuem diferentes variações, com valores diminuindo e posteriormente aumentando por quatro meses. Esta tendência de aumento ou diminuição das leituras é captada pelos modelos neurais com um pequeno atraso de um mês, ou seja, é incorporado à leitura seguinte.

4.1.2.5 Piezômetro PSU67

a) Modelos desenvolvidos com dados de leitura original do instrumento:

LEITURA ORIGINAL – PSU67							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		2 (X, Y e Z)		3 (X,Y, Z, t-1)		4 (X, Y, Z, t-1, t-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	32,460	32,018	0,442	32,910	0,450	32,509	0,049
Fev/00	32,250	34,413	2,163	32,881	0,631	32,495	0,245
Mar/00	32,105	34,313	2,208	32,828	0,723	31,993	0,112
Abr/00	32,360	32,858	0,498	32,621	0,261	32,400	0,040
Mai/00	32,395	29,209	3,186	32,473	0,078	32,225	0,170
Jun/00	32,955	29,408	3,547	32,677	0,278	32,765	0,190
Jul/00	33,175	33,112	0,063	32,987	0,188	33,164	0,011
Ago/00	32,925	38,736	5,811	33,068	0,143	32,928	0,003
Set/00	34,425	32,482	1,943	33,484	0,941	33,377	1,048
Out/00	34,230	35,864	1,634	34,234	0,004	34,109	0,121
Nov/00	34,245	36,367	2,122	34,361	0,116	34,124	0,121
Dez/00	34,395	35,780	1,385	34,289	0,106	34,378	0,017
Jan/01	34,400	37,281	2,881	34,999	0,599	34,402	0,002
ERRO MÉDIO (m)		-	2,145	-	0,348	-	0,164

QUADRO 21 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSU67

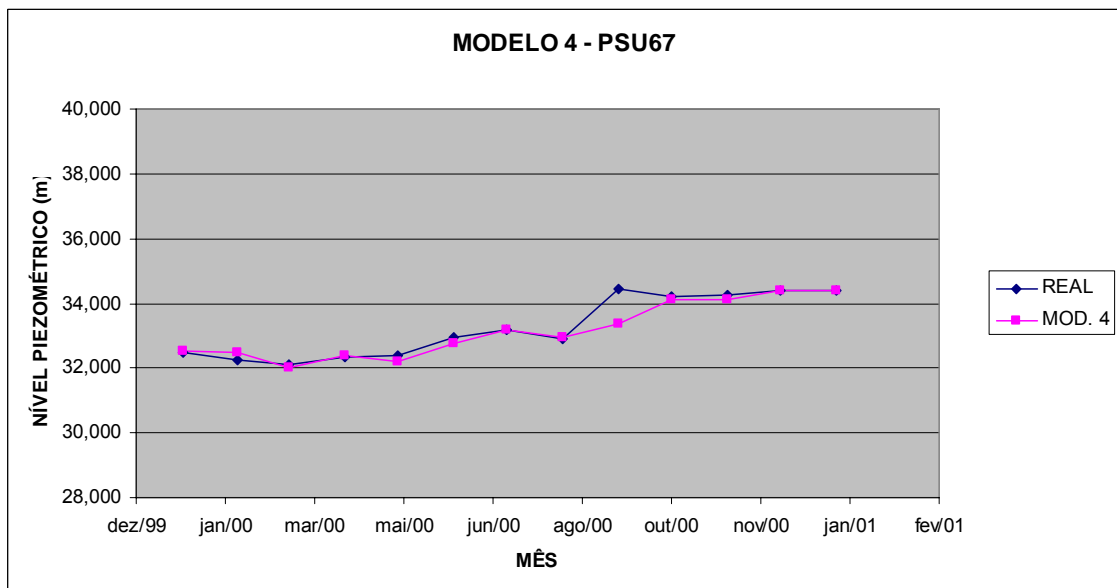
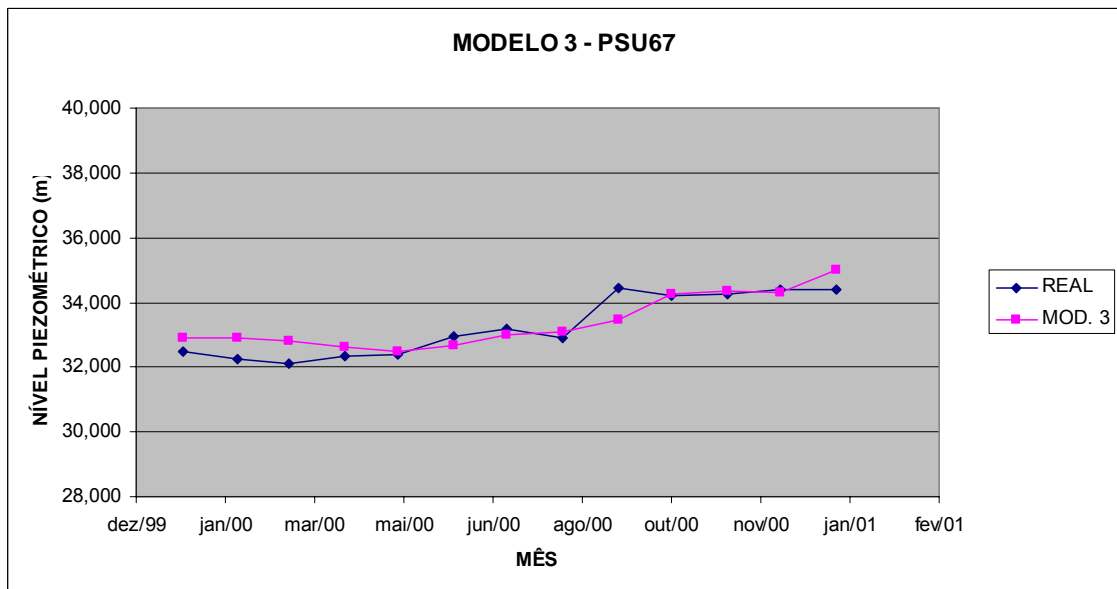
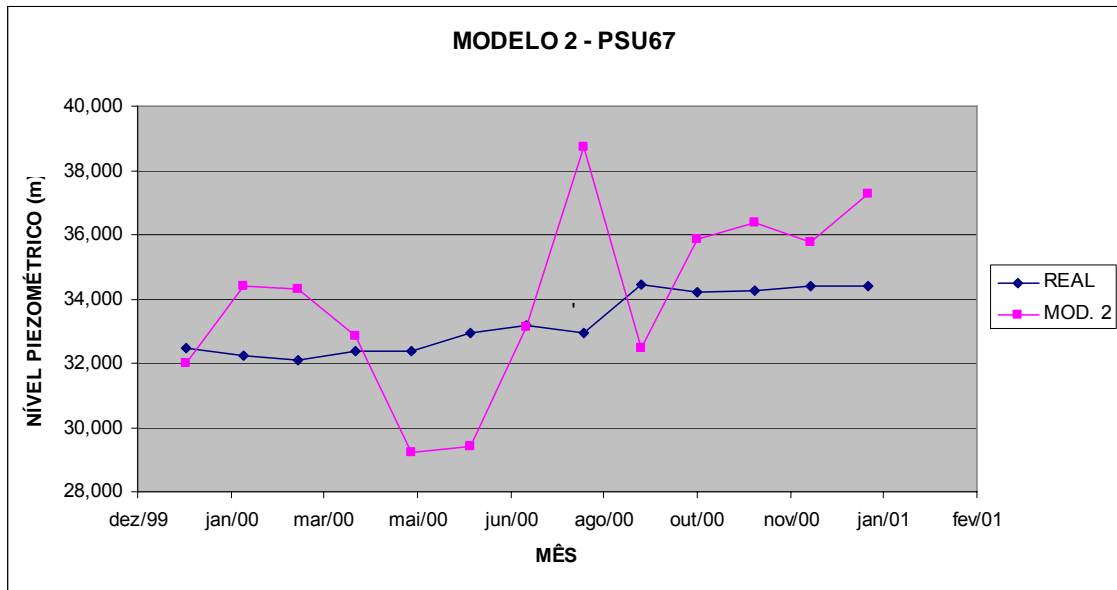


FIGURA 31 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 e 4 – PSU67

b) Modelos desenvolvidos com dados de gradiente de leituras do instrumento:

GRADIENTE – PSU67							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		5 (X, Y e Z)		6 (X,Y, Z, g-1)		7 (X, Y, Z, g-1, g-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	-	-	-	-	-	-	-
Fev/00	32,460	32,442	0,192	32,379	0,129	32,320	0,070
Mar/00	32,250	32,326	0,221	32,357	0,252	32,102	0,003
Abr/00	32,105	32,127	0,233	32,119	0,241	32,150	0,210
Mai/00	32,360	32,258	0,137	32,275	0,120	32,333	0,062
Jun/00	32,395	32,400	0,555	32,472	0,483	32,413	0,542
Jul/00	32,955	33,130	0,045	33,111	0,064	33,162	0,013
Ago/00	33,175	33,272	0,347	33,288	0,363	33,078	0,153
Set/00	32,925	33,192	1,233	33,131	1,294	33,165	1,260
Out/00	34,425	34,294	0,064	34,373	0,143	34,314	0,084
Nov/00	34,230	34,128	0,117	34,123	0,122	34,191	0,054
Dez/00	34,245	34,417	0,022	34,172	0,223	34,172	0,223
Jan/01	34,395	34,505	0,105	34,900	0,500	34,385	0,015
ERRO MÉDIO (m)		-	0,273	-	0,328	-	0,224

QUADRO 22 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSU67

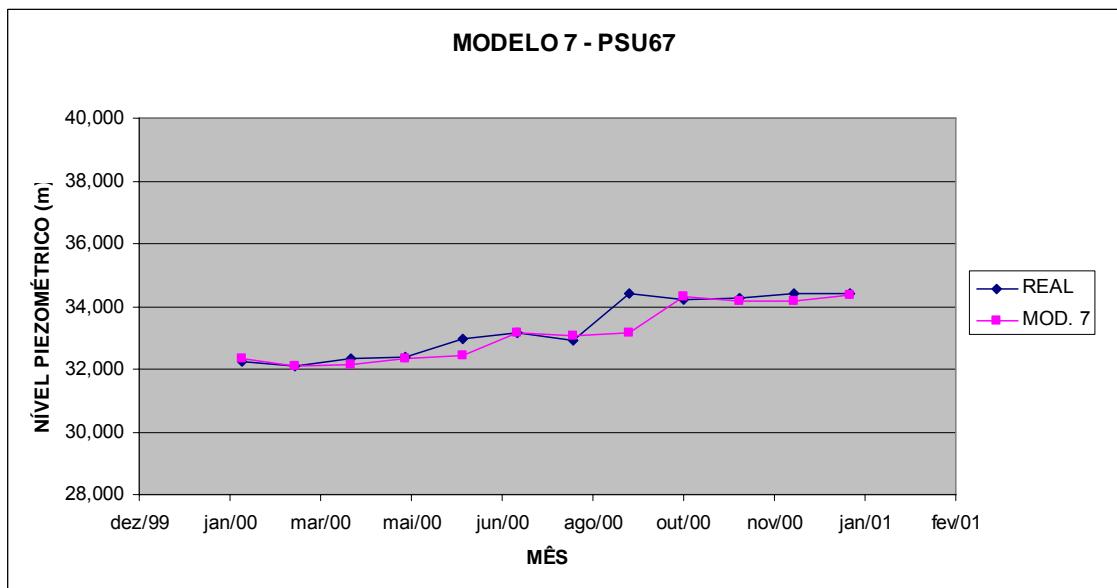
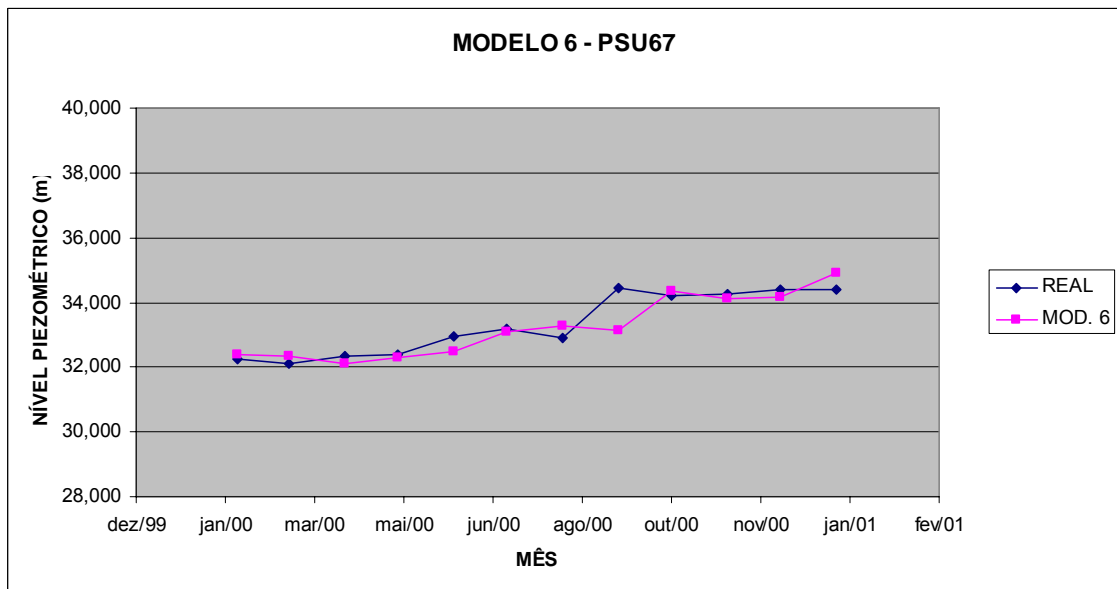
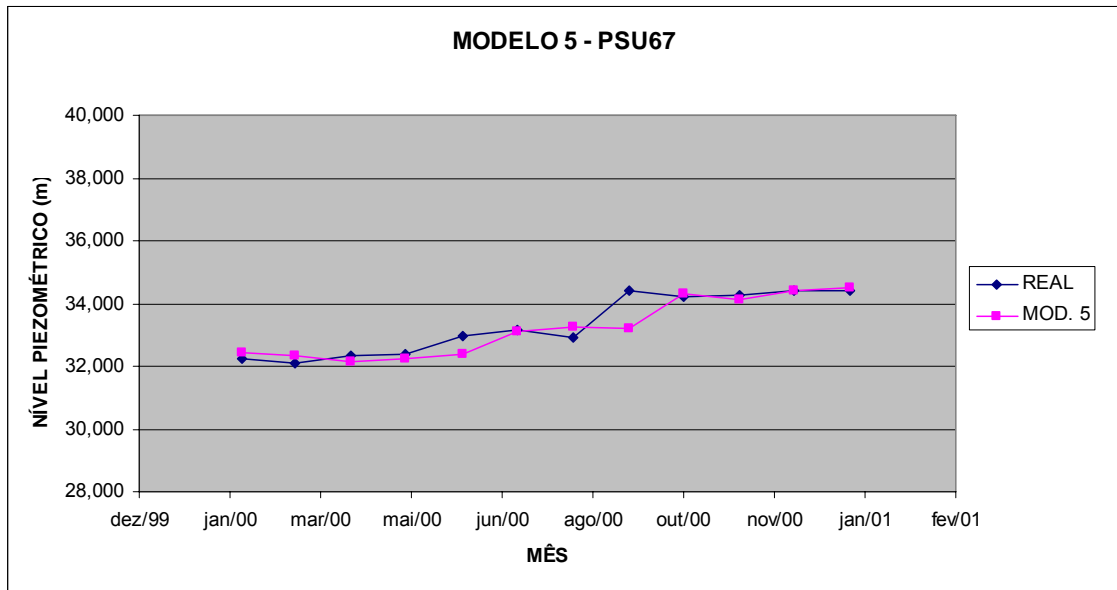


FIGURA 32 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSU67

Neste instrumento, o erro médio também diminuiu do modelo 2 ao modelo 4, o erro no modelo 2 era de 2,145m, passou para 0,348m no modelo 3 e para 0,164m no modelo 5. Esta melhoria muito significativa no comportamento dos modelos pode-se explicar pela incorporação da tendência de subida de leituras no período estudado, bem captada pelo modelo com a introdução da informação temporal nas entradas. Nota-se que este instrumento teve quase todas as suas leituras aumentado ao longo do período considerado.

Com os dados de gradiente, o erro médio foi baixo e variou muito pouco nos modelos 5, 6 e 7, com 0,273m no modelo 5, 0,328m no modelo 6 e 0,224 no modelo 7. Observa-se que o erro até aumentou um pouco da simulação 5 para a 6, mas mantendo o erro com um valor baixo.

4.1.2.6 Piezômetro PSH51

a) Modelos desenvolvidos com dados de leitura original do instrumento:

LEITURA ORIGINAL – PSH51							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		2 (X, Y e Z)		3 (X,Y, Z, t-1)		4 (X, Y, Z, t-1, t-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	61,095	63,646	2,551	61,314	0,219	61,449	0,354
Fev/00	61,085	61,934	0,849	60,952	0,133	60,964	0,121
Mar/00	61,180	65,947	4,767	60,704	0,476	60,866	0,314
Abr/00	61,195	60,914	0,281	60,800	0,395	61,146	0,049
Mai/00	61,545	62,356	0,811	61,017	0,528	60,966	0,579
Jun/00	61,560	63,853	2,293	61,240	0,320	61,607	0,047
Jul/00	61,510	65,953	4,443	60,815	0,695	61,080	0,430
Ago/00	61,565	64,140	2,575	61,068	0,497	61,463	0,102
Set/00	61,485	64,217	2,732	61,097	0,388	61,307	0,178
Out/00	61,140	65,101	3,961	61,673	0,533	61,620	0,480
Nov/00	60,875	64,457	3,582	61,170	0,295	60,949	0,074
Dez/00	60,625	64,304	3,679	60,965	0,340	60,549	0,076
Jan/01	60,713	60,074	0,640	60,721	0,008	60,356	0,357
ERRO MÉDIO (m)		-	2,551	-	0,371	-	0,243

QUADRO 23 – RESULTADOS DOS MODELOS 2, 3 E 4 DO PIEZÔMETRO PSH51

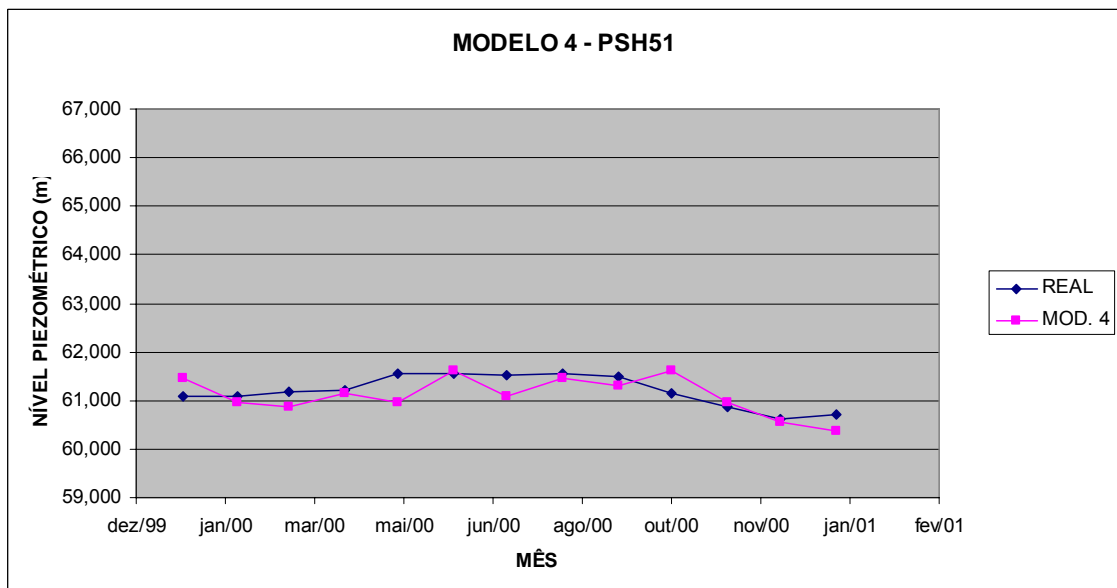
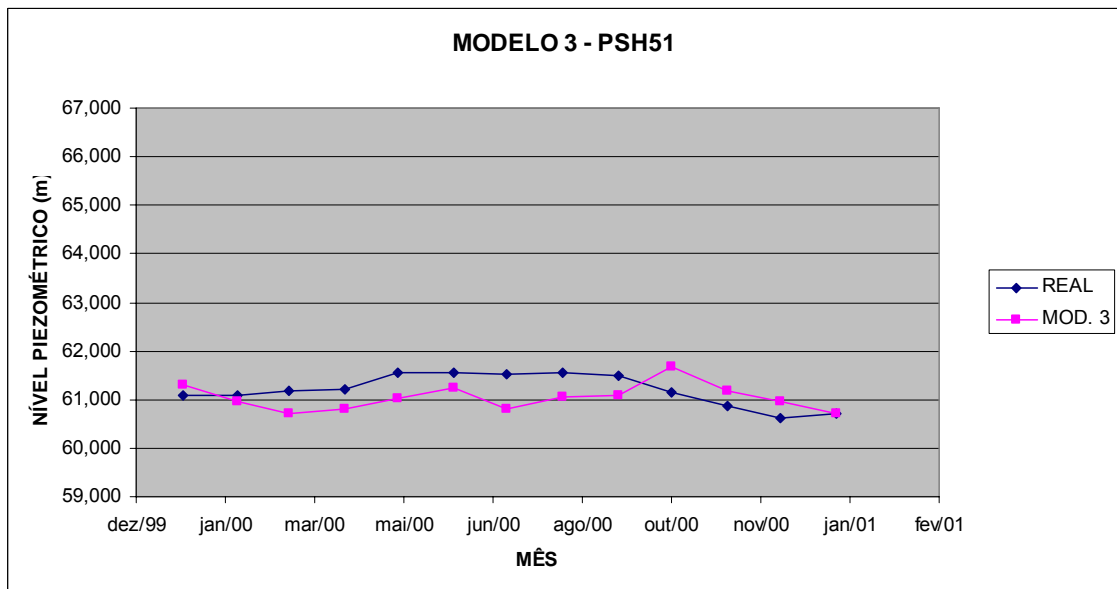
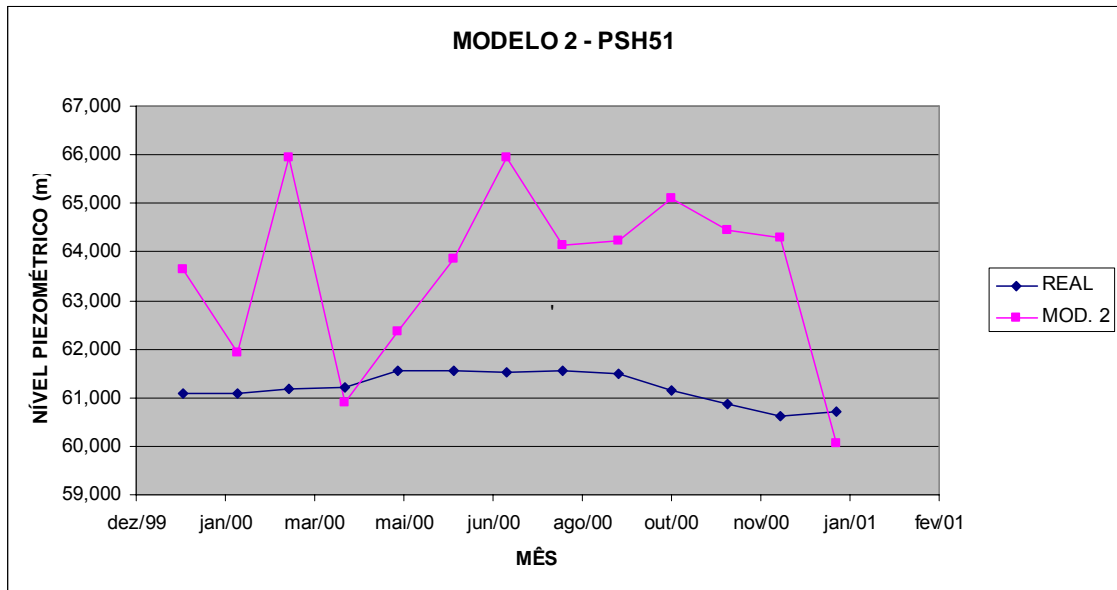


FIGURA 33 – DADOS REAIS X MODELOS 2, 3 E 4 – PSH51

b) Modelos desenvolvidos com dados de gradiente de leituras do instrumento:

GRADIENTE – PSH51							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		5 (X, Y e Z)		6 (X,Y, Z, g-1)		7 (X, Y, Z, g-1, g-2)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)
Jan/00	-	-	-	-	-	-	-
Fev/00	61,095	61,075	0,010	61,113	0,028	61,147	0,062
Mar/00	61,085	61,141	0,039	61,139	0,041	61,164	0,016
Abr/00	61,180	61,204	0,009	61,221	0,026	61,179	0,016
Mai/00	61,195	61,091	0,454	61,247	0,298	61,151	0,394
Jun/00	61,545	61,553	0,007	61,660	0,100	61,538	0,022
Jul/00	61,560	61,737	0,227	61,590	0,080	61,709	0,199
Ago/00	61,510	61,605	0,040	61,622	0,057	61,599	0,034
Set/00	61,565	61,842	0,357	61,730	0,245	61,782	0,297
Out/00	61,485	61,355	0,215	61,458	0,318	61,182	0,042
Nov/00	61,140	61,039	0,164	61,032	0,157	61,073	0,198
Dez/00	60,875	60,766	0,141	60,772	0,147	60,667	0,042
Jan/01	60,625	60,734	0,021	60,521	0,193	60,706	0,007
ERRO MÉDIO (m)		-	0,140	-	0,141	-	0,111

QUADRO 24 – RESULTADOS DOS MODELOS 5, 6 E 7 DO PIEZÔMETRO PSH51

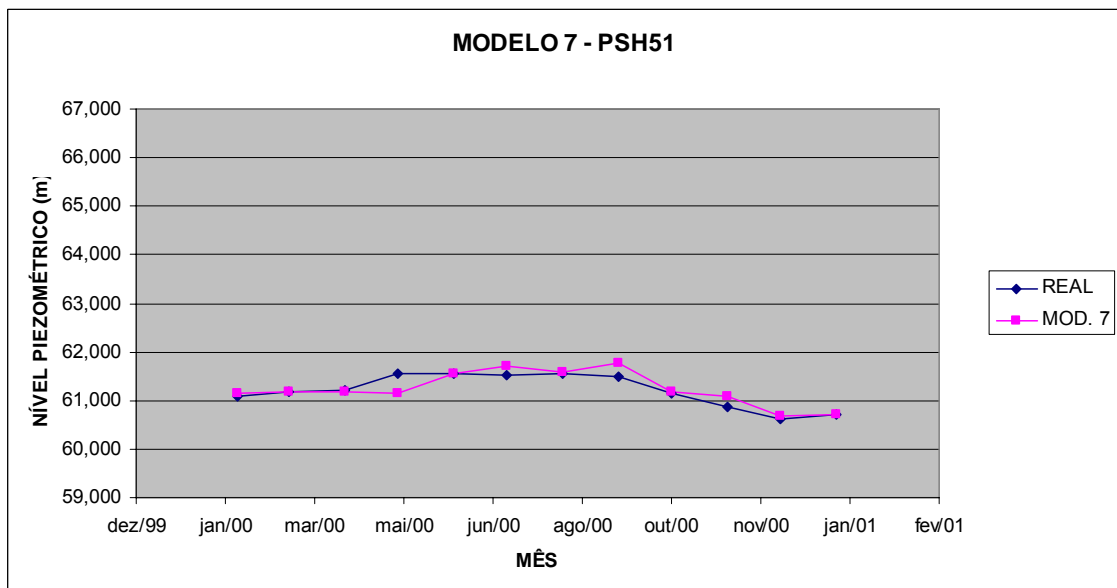
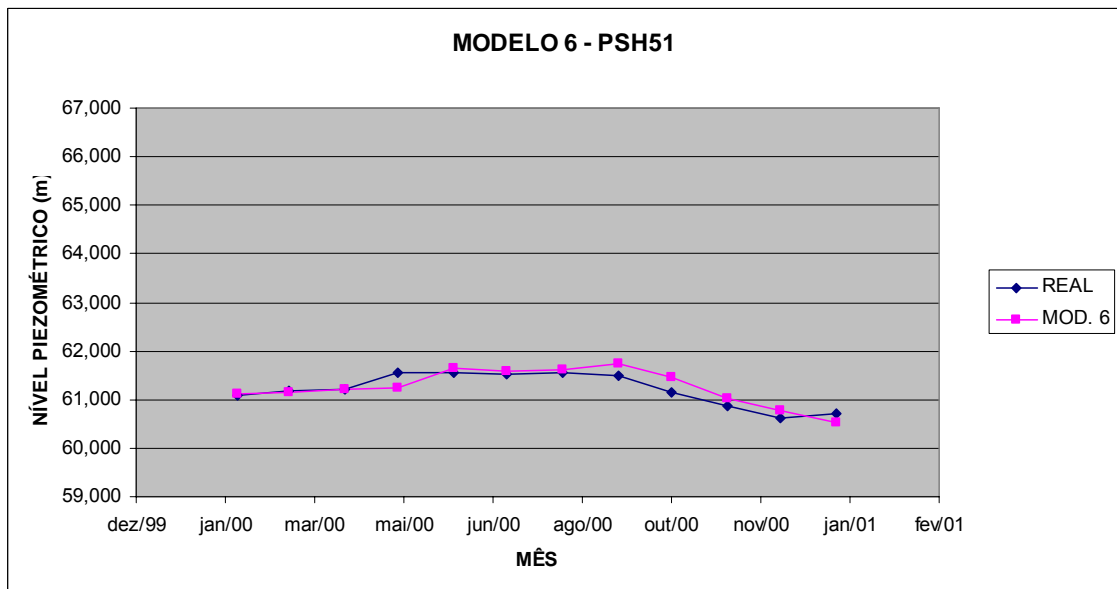
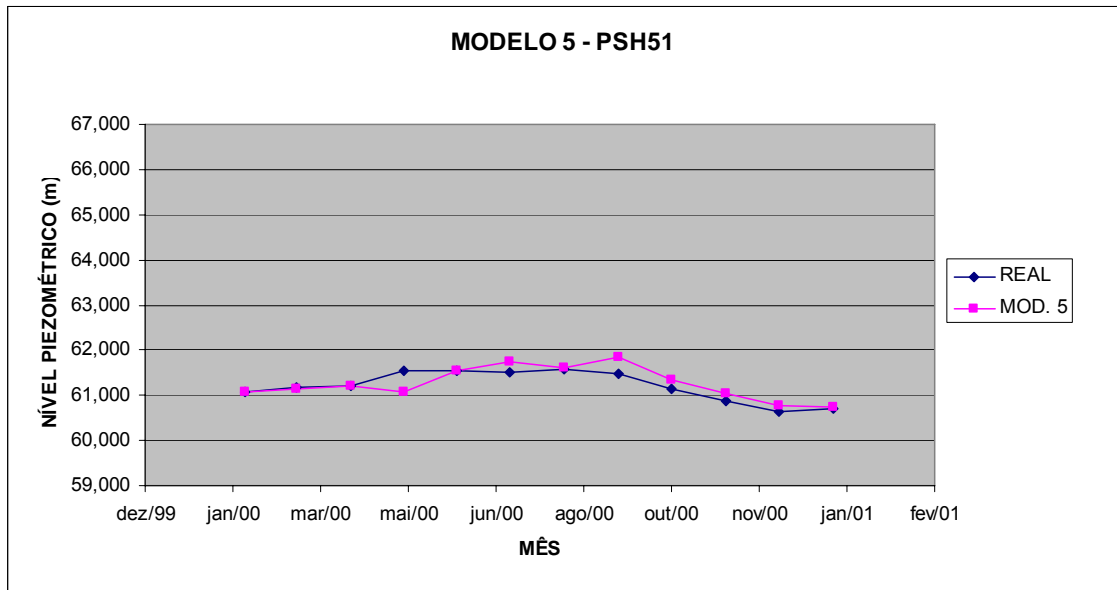


FIGURA 34 – DADOS REAIS X MODELOS 5, 6 E 7 – PSH51

Neste instrumento, o erro médio também diminuiu do modelo 2 ao modelo 4, o erro no modelo 2 era de 2,551m, passou para 0,371m no modelo 3 e para 0,243m no modelo 5.

Com os dados de gradiente, o erro médio foi baixo e variou muito pouco nos modelos 5, 6 e 7, com 0,140m no modelo 5, 0,141m no modelo 6 e 0,111 no modelo 7.

4.1.2.7 Exemplos de mapas piezométricos para a Área 2

Para se poder melhor visualizar a distribuição espacial dos níveis piezométricos ao longo das feições estudadas, foram confeccionados alguns mapas para determinados instantes. Como o contato A/B é a única feição que abrange toda a área 2, optou-se por traçar os mapas piezométricos para esta feição.

Esses mapas foram feitos com a rede treinada para o modelo 2, que tinha como entrada para a rede as coordenadas X e Y e a cota Z e a saída a média mensal das leituras dos instrumentos. Utilizou-se esse modelo, pois, para gerar o mapa era necessário gerar um grid de pontos com as informações necessárias para cada tipo de rede e, somente no modelo 2 era possível obter todas as informações de entrada necessárias em todos os pontos desse grid. As figuras 35 e 36 mostram os mapas para o contato A/B nos meses de abril e agosto de 2000.

Nos modelos 3 a 7 não era possível obter todas as informações necessárias para cada rede, pois não existem dados de leituras dos piezômetros para o grid de pontos. Porém, deve-se enfatizar aqui que os modelos com inserção de dados temporais foram os de melhor desempenho, não sendo mostrados aqui em mapas.

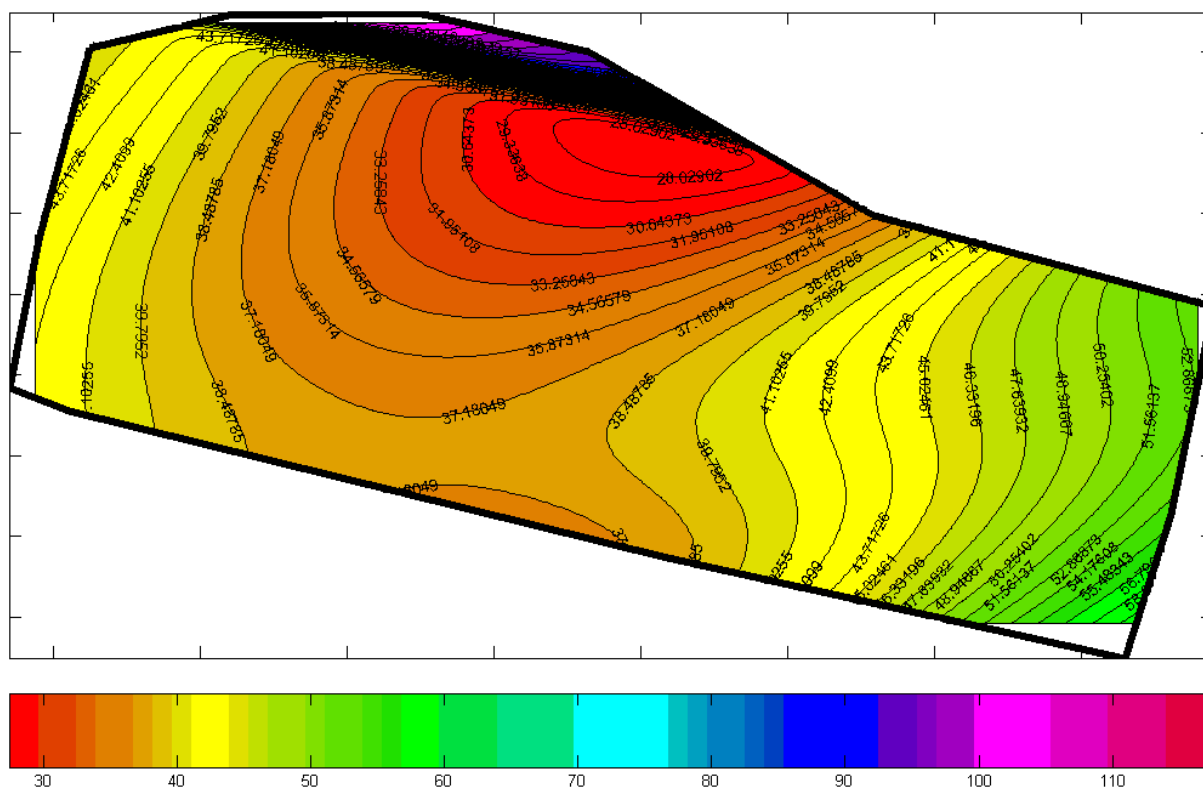


FIGURA 35 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – ABRIL/00

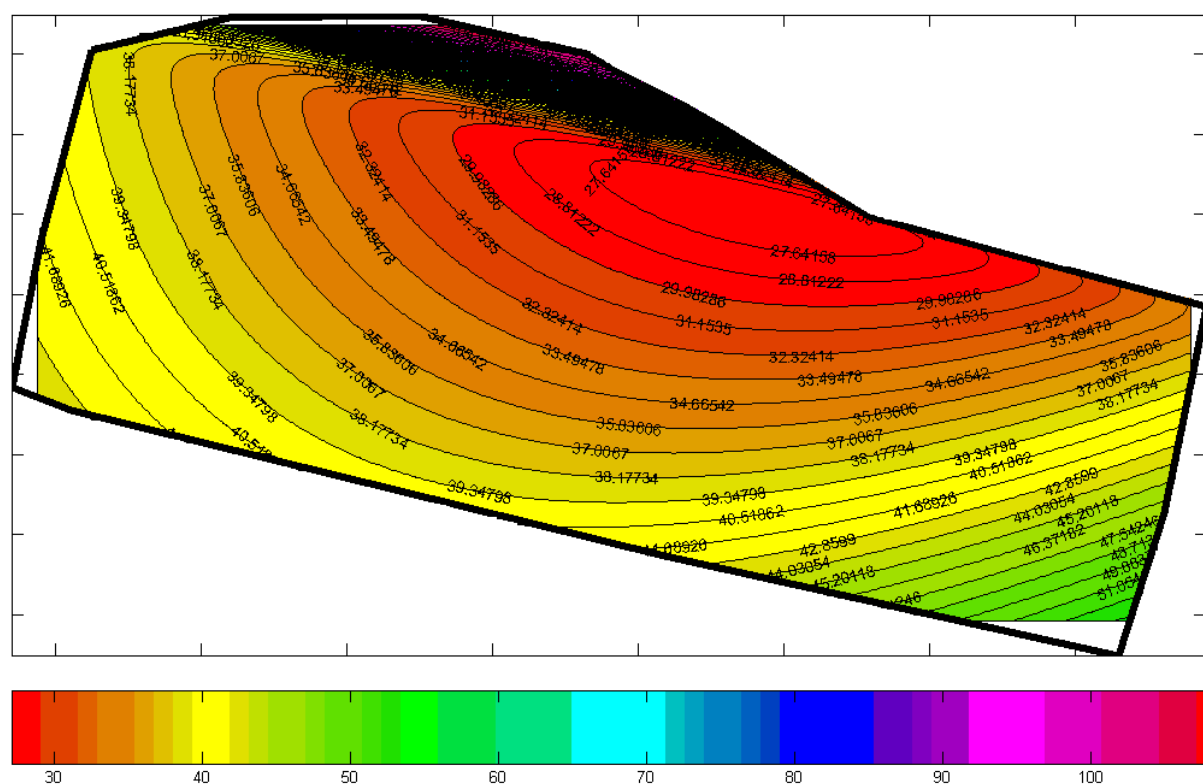


FIGURA 36 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – AGO/00

4.1.2.8 Discussão dos resultados dos modelos 2 a 7

Com os dados dos seis instrumentos testados, observa-se que os resultados não foram satisfatórios para o modelo 2, onde foram utilizados como dados de entrada somente as coordenadas X e Y e a cota Z e a saída sendo os dados reais das leituras dos instrumentos. Uma possível explicação para isso seria a grande área que está sendo estudada, com as diferentes feições geológicas sendo incorporadas simultaneamente ao modelo, e também a quantidade de instrumentos instalados por feição, que nem sempre é suficiente para prover todas as informações necessárias ao modelo.

Mas, com a inclusão das leituras anteriores dos instrumentos (t-1 e t-2) como dado de entrada, e mantendo a saída com os dados reais das leituras dos instrumentos, os resultados melhoraram significativamente nos modelos 3 e 4.

E, com a utilização do gradiente de leituras na entrada e saída da rede neural ao invés das leituras reais dos instrumentos, os resultados, de maneira geral, melhoraram ainda mais para as três diferentes combinações dos dados de entrada aplicadas nos modelos 5, 6 e 7, inclusive com a utilização de somente as coordenadas X e Y e a cota Z, mostrado no modelo 5.

A exceção desses resultados é o instrumento PSF113, que não apresentou melhora nos resultados com a utilização do gradiente de leituras. Isso se deve ao fato de este instrumento ter uma grande variação das leituras ao longo do tempo, a maior entre os instrumentos utilizados em alguns meses do ano, fazendo com que duas leituras, quando normalizadas, fossem 1. Assim, o modelo neural estava com o maior dos dados de entrada no seu conjunto de teste, o que faz com que o modelo tenha de realizar uma extrapolação aos dados de treinamento. Desta forma, qualquer técnica de modelagem deverá ter mau desempenho. Assim, recomenda-se que os dados utilizados como teste não sejam os valores limites, neste caso 0 e 1.

4.1.3 Mapeamento das subpressões da Área 1.

Neste item seguem os resultados do mapeamento realizado por redes neurais na Área 1, que é a área mais restrita, referente aos modelos 1 e 1a. Os resultados são apresentados no item 4.3 - Comparação entre redes neurais artificiais e geoestatística - na forma de quadros com valores de leituras e erros em metros, como foi apresentado no itens anteriores. Os gráficos com as leituras ao longo do tempo também são apresentados no item 4.3

Primeiramente foi estruturado o modelo 1, com a mesma combinação de dados de entrada e saída do modelo 8, que foi desenvolvido por geoestatística. Mas os resultados do modelo 1 não foram muito bons, como mostrado adiante, por isso foi realizado o modelo 1a, já explicado anteriormente.

4.1.3.1 Mapas por redes neurais

Mapas da distribuição espacial em duas dimensões das pressões piezométricas foram confeccionados para o modelo 1a, pois, além deste modelo apresentar um erro menor que o modelo 1, no grid de pontos para o modelo 1 não havia o dado referente a “Região”. Por isso os mapas foram gerados para as redes do modelo 1a.

As figuras 37 e 38 mostram os mapas para os meses de setembro de 2000 e janeiro de 2001.

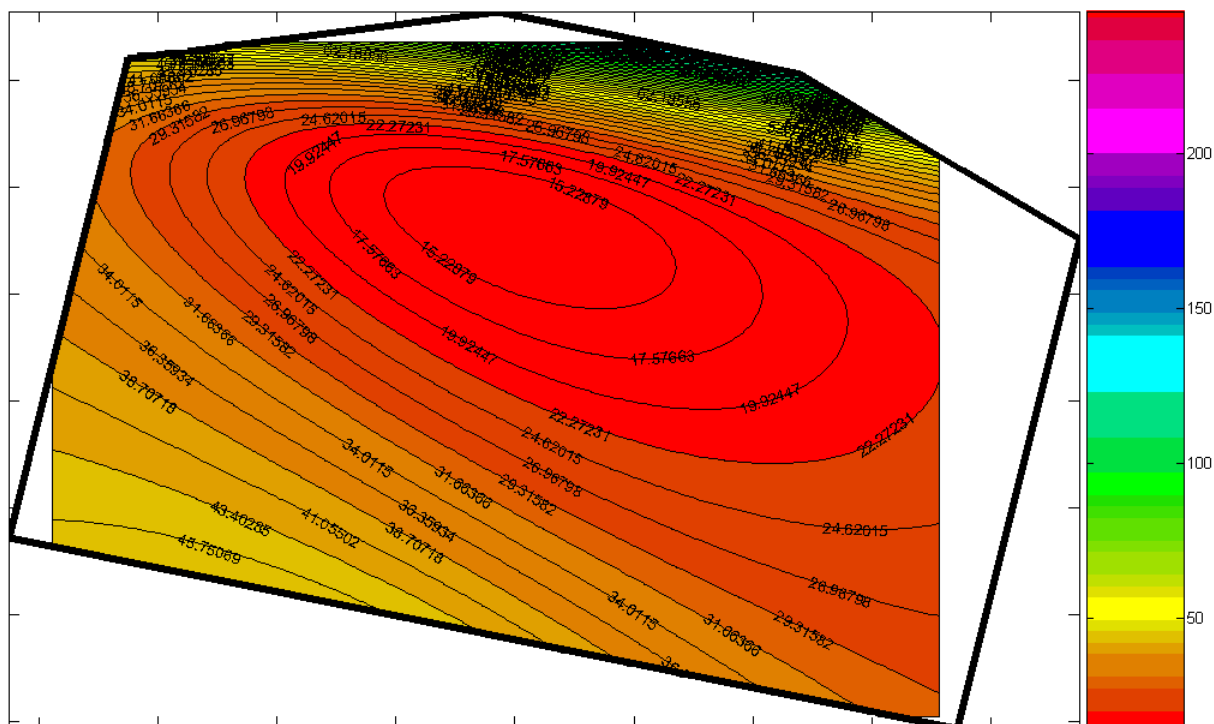


FIGURA 37 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – SET/00

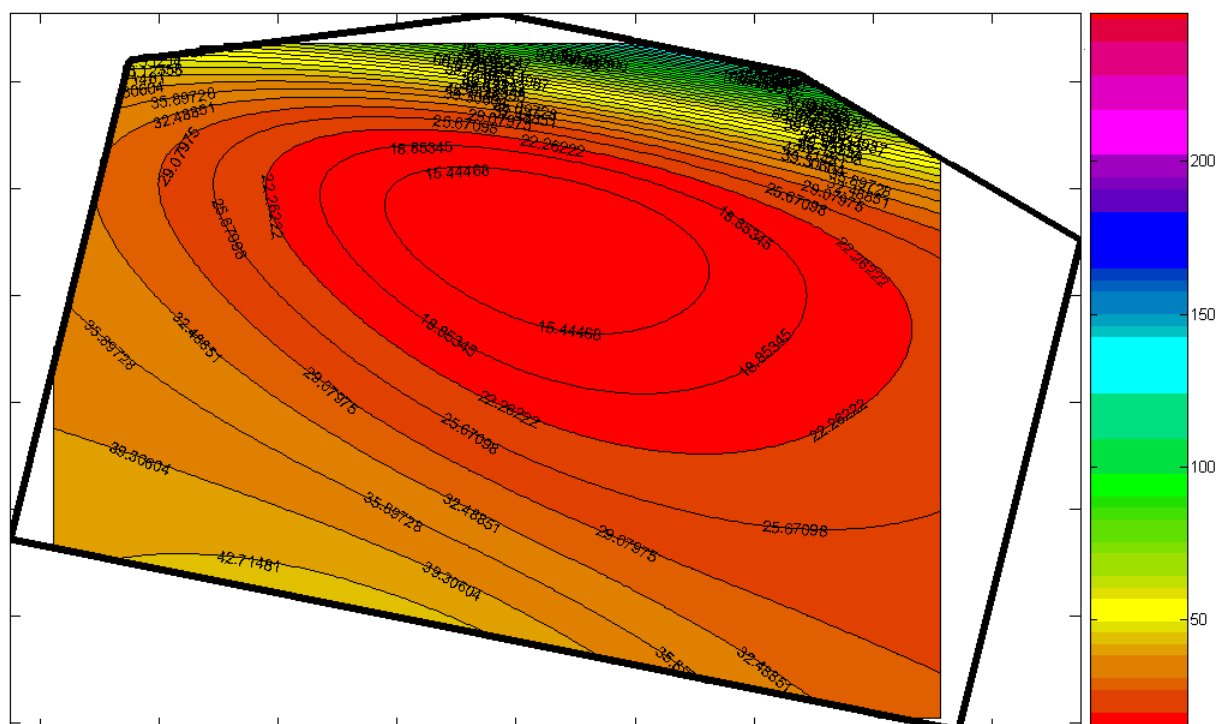


FIGURA 38 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEL PIEZOMÉTRICO OBTIDO POR REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS – CONTATO A/B – JAN/01

Também foram confeccionadas algumas figuras em três dimensões, para se obter uma melhor visualização dos níveis piezométricos. Estas figuras foram produzidas a partir de pontos em que havia informação de instrumentos, ou seja, nos pontos onde os mesmos foram instalados. Para tal, se utilizou o comando “mesh” pré-programado no MatLab (MATLAB, 2004).

As figuras 39 a 41 mostram um exemplo desse tipo de visualização de dados que, para exemplificar, foi realizado para o mês de abril de 2000. Nestas figuras são mostrados o perfil do Contato A/B (Figura 39), com as cotas obtidas da instalação dos instrumentos nesta feição, podendo-se observar as irregularidades desta feição geológica. O nível piezométrico obtido com as leituras dos instrumentos (Figura 40) e a predição realizada (Figura 41) também foram mostrados. E, para comparação, também foram feitas figuras mostrando dois tipos de dados simultaneamente: cota de instalação e nível piezométrico dos instrumentos (Figura 42); cota de instalação e nível piezométrico da predição (Figura. 43); e nível piezométrico dos instrumentos e da predição (Figura 44).

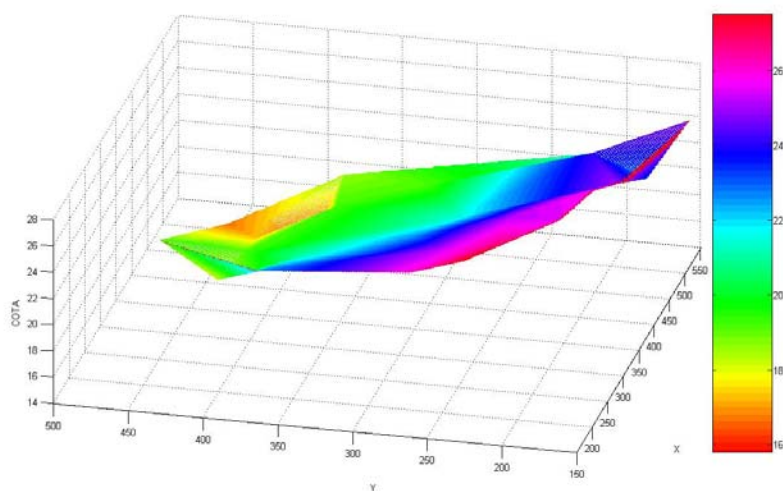


FIGURA 39 – PERFIL DO CONTATO A/B

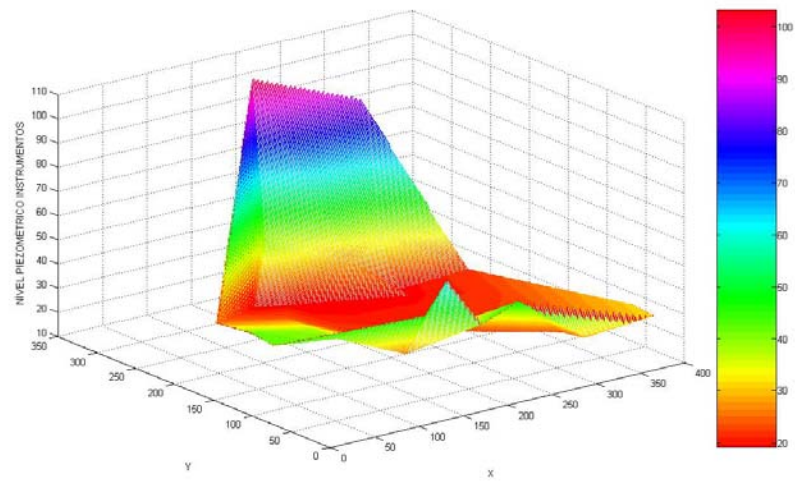


FIGURA 40 – NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS – ABRIL/00

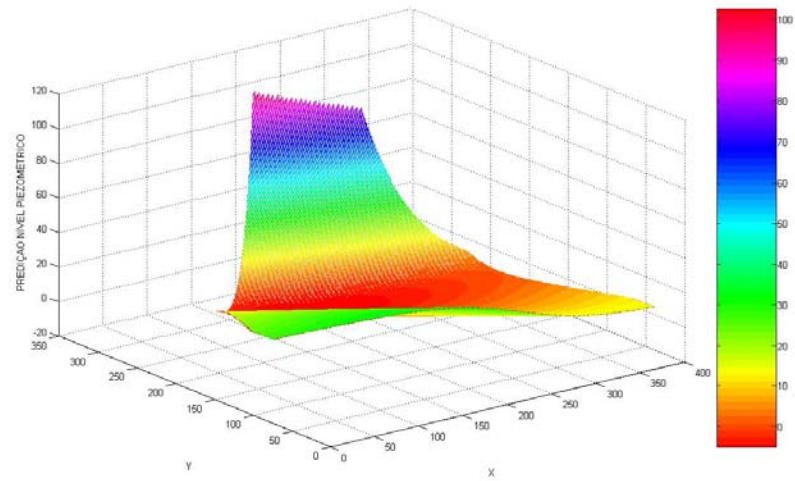


FIGURA 41 – PREDIÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS – ABRIL/00

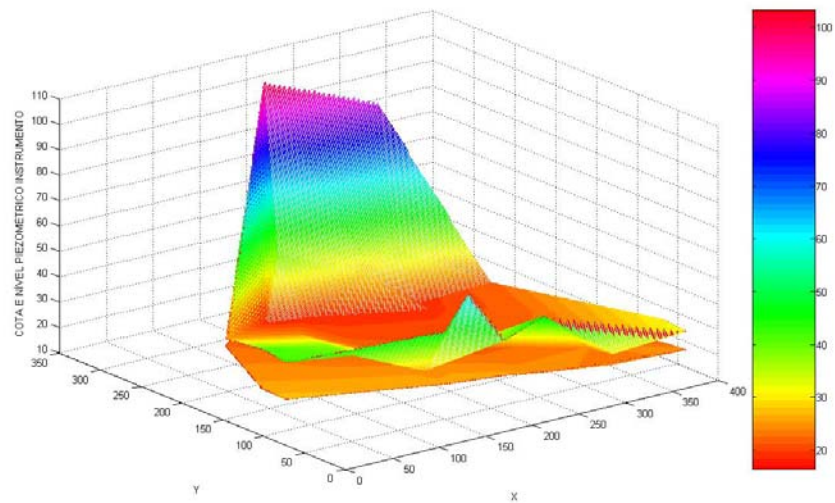


FIGURA 42 – COTA E NÍVEL PIEZOMÉTRICO DOS INSTRUMENTOS

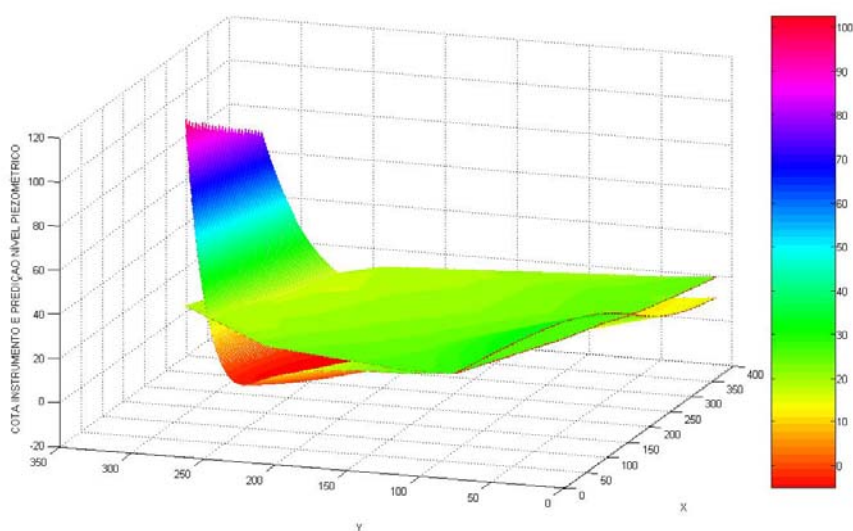


FIGURA 43 – COTA E NÍVEL PIEZOMÉTRICO DA PREDIÇÃO

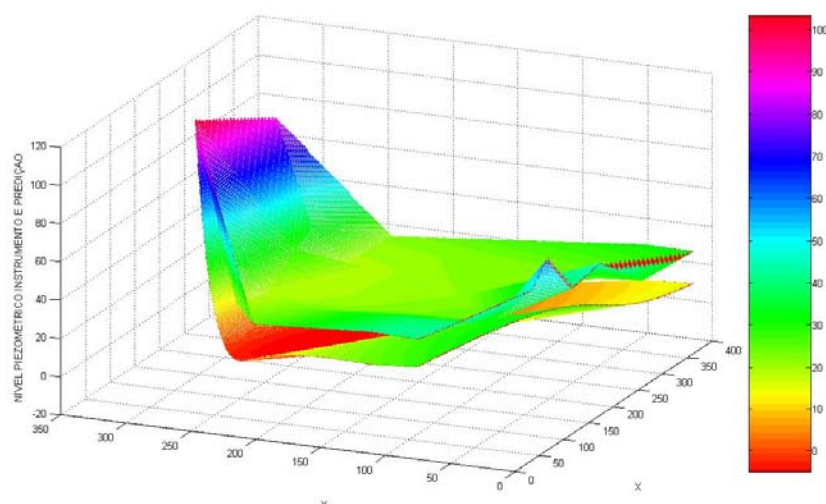


FIGURA 44 –NÍVEL PIEZOMÉTRICO DOS INSTRUMENTOS E PREDIÇÃO

4.2 GEOESTATÍSTICA

O mapeamento realizado por geoestatística (modelo 8), como já mencionado, foi na Área 1 e para os instrumentos PSF64, PSF75 e PSU19 para se poder comparar com as redes neurais. O mapeamento foi realizado através da krigagem. Os resultados e os gráficos de leitura real *versus* predição ao longo do tempo são apresentados no item 4.3.

4.2.1 Mapas por geoestatística

Assim como por redes neurais, mapas dos níveis piezométricos foram confeccionados por redes neurais para mostrar a visualização da distribuição espacial desses níveis.

As figuras 45 e 46 mostram os mapas para os meses de setembro de 2000 e janeiro de 2001.

Também foram feitos mapas dos gradientes das leituras, visando a melhor visualização da variação dos níveis piezométricos de um mês para o outro, a figura 47 trás um exemplo desse tipo de mapa.

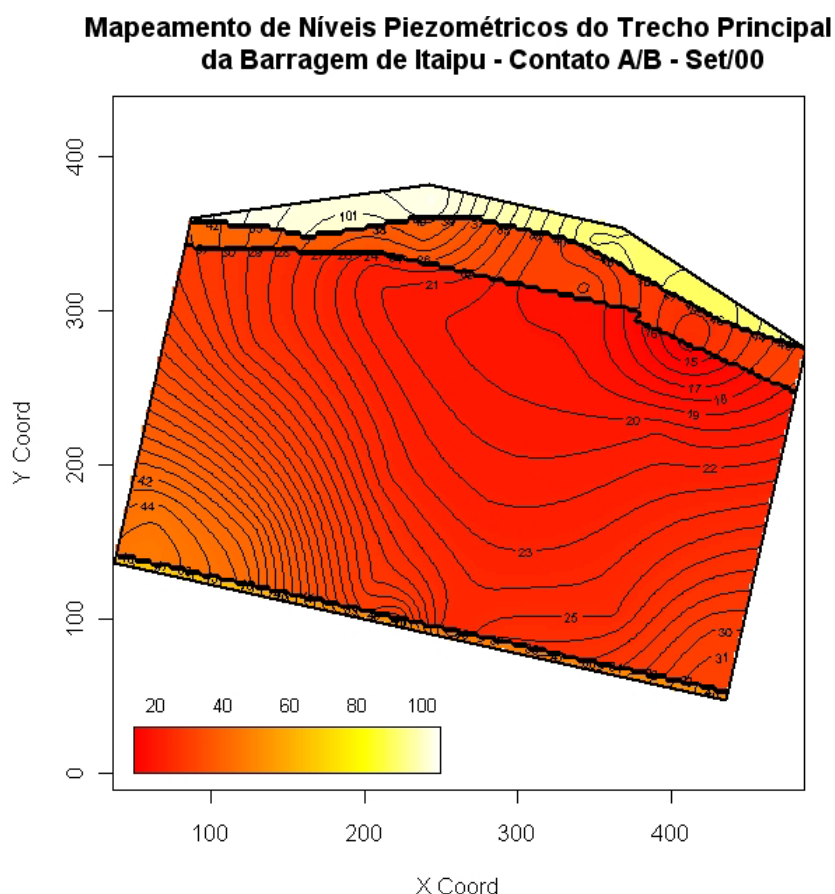


FIGURA 45 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS OBTIDO POR GEOESTATÍSTICA – SETEMBRO DE 2000

**Mapeamento de Níveis Piezométricos do Trecho Principal
da Barragem de Itaipu - Contato A/B - Jan/01**

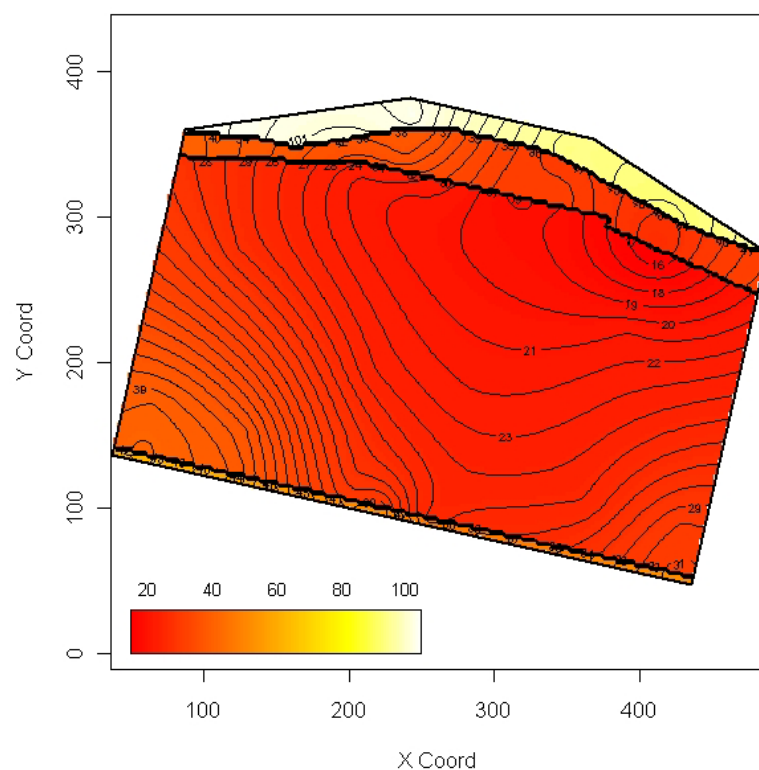


FIGURA 46 – EXEMPLO DE MAPA DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS OBTIDO POR GEOESTATÍSTICA – JANEIRO DE 2001

**Mapeamento do Gradiente Piezométrico do Trecho Principal
da Barragem de Itaipu - Contato A/B - Ago-Set/00**

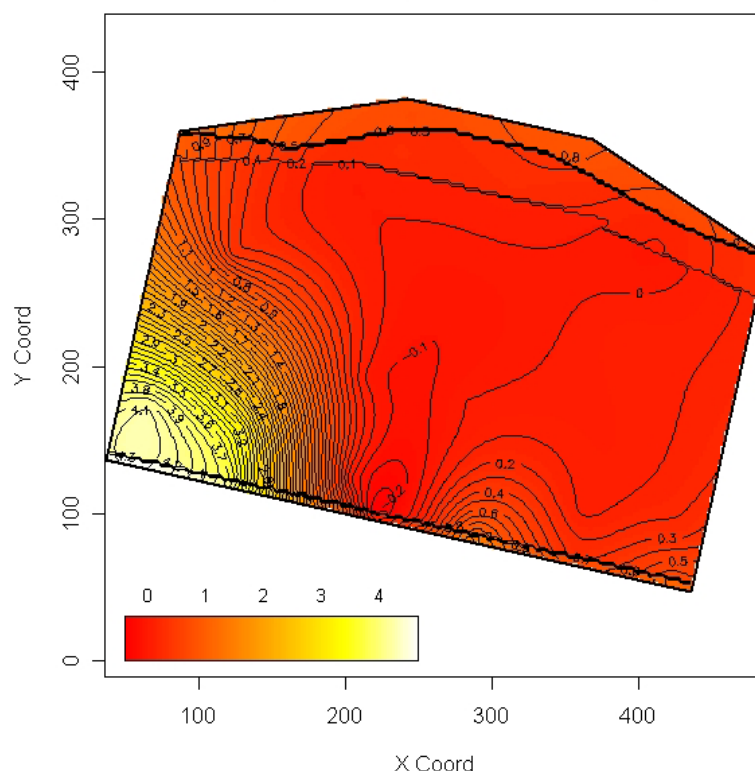


FIGURA 47 – EXEMPLO DE MAPA DE GRADIENTE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS OBTIDO POR GEOESTATÍSTICA – AGOSTO/SETEMBRO DE 2000

Os mapas confeccionados mostram a distribuição espacial dos níveis piezométricos. Através desses exemplos mostrados, pode-se visualizar a diferença dos níveis piezométricos em determinados instantes, principalmente analisando os mapas de gradientes.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS E GEOESTATÍSTICA

Com os resultados obtidos nos modelos da Área 1 foi possível comparar as duas técnicas, pois foram utilizados os mesmos dados e a mesma área de estudo (modelos 1 e 8). O modelo 1a também foi mostrado nessa comparação, apesar de ter uma combinação diferente de dados de entrada.

Nos quadros e gráficos a seguir os resultados são mostrados juntos, modelos 1, 1a e 8. Esses resultados são apresentados na forma de quadros com valores de leituras e erros em metros, como foi apresentado nos itens anteriores. Também são mostrados os gráficos com as leituras ao longo do tempo.

4.3.1 Piezômetro PSF64

LEITURA – PSF64							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		1 (X, Y e REGIÃO)		1a (X,Y)		8 (X, Y e REGIÃO)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	GEO(m)	ERRO(m)
Jan/00	28,480	30,579	2,099	28,664	0,184	33,343	4,863
Fev/00	28,730	31,485	2,755	28,341	0,389	33,613	4,883
Mar/00	28,975	31,554	2,579	28,441	0,534	33,877	4,902
Abr/00	28,920	31,057	2,137	29,227	0,307	33,974	5,054
Mai/00	28,980	34,052	5,072	29,139	0,159	33,680	4,700
Jun/00	28,765	34,182	5,417	28,060	0,705	33,493	4,728
Jul/00	28,805	33,505	4,700	27,961	0,844	33,201	4,396
Ago/00	29,230	33,536	4,306	28,978	0,252	33,245	4,015
Set/00	29,485	31,055	1,570	28,098	1,387	33,799	4,314
Out/00	29,545	30,862	1,317	29,113	0,432	33,501	3,956
Nov/00	29,415	33,635	4,220	28,105	1,310	33,423	4,008
Dez/00	29,090	30,795	1,705	29,200	0,110	33,592	4,502
Jan/01	29,275	33,710	4,435	29,620	0,345	33,506	4,231
ERRO MÉDIO (m)		-	3,255	-	0,535	-	4,504

QUADRO 25 – RESULTADOS DOS MODELOS 1, 1a E 8 DO PIEZÔMETRO PSF64

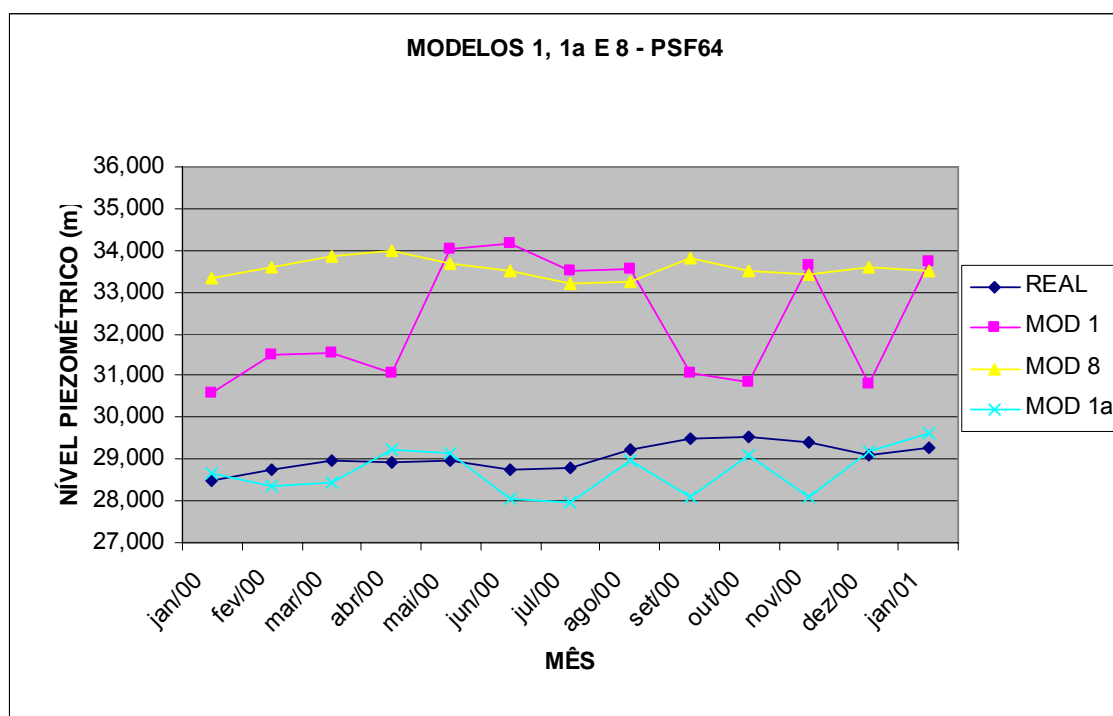


FIGURA 48 – DADOS REAIS X MODELOS 1, 1a E 8 – PSF64

4.3.2 Piezômetro PSF75

LEITURA – PSF75							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		1 (X, Y e REGIÃO)		1a (X,Y)		8 (X, Y e REGIÃO)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	GEO(m)	ERRO(m)
Jan/00	35,330	29,130	6,200	35,118	0,212	27,751	7,579
Fev/00	35,650	29,319	6,331	35,972	0,322	27,853	7,797
Mar/00	35,930	31,473	4,457	32,053	3,877	27,912	8,018
Abr/00	36,055	35,701	0,354	37,873	1,818	27,858	8,197
Mai/00	35,800	30,824	4,976	34,446	1,354	27,680	8,120
Jun/00	35,525	32,736	2,789	33,887	1,638	27,634	7,891
Jul/00	35,130	35,381	0,251	35,679	0,549	27,495	7,635
Ago/00	35,260	36,021	0,761	34,273	0,987	27,514	7,746
Set/00	35,475	28,846	6,629	35,303	0,172	27,697	7,778
Out/00	35,455	36,409	0,954	35,046	0,409	27,836	7,619
Nov/00	35,450	31,460	3,990	35,167	0,283	27,750	7,700
Dez/00	35,605	31,294	4,311	36,196	0,591	27,832	7,773
Jan/01	35,535	31,018	4,517	34,827	0,708	27,902	7,633
ERRO MÉDIO (m)		-	3,578	-	0,994	-	7,807

QUADRO 26 – RESULTADOS DOS MODELOS 1, 1a E 8 DO PIEZÔMETRO PSF75

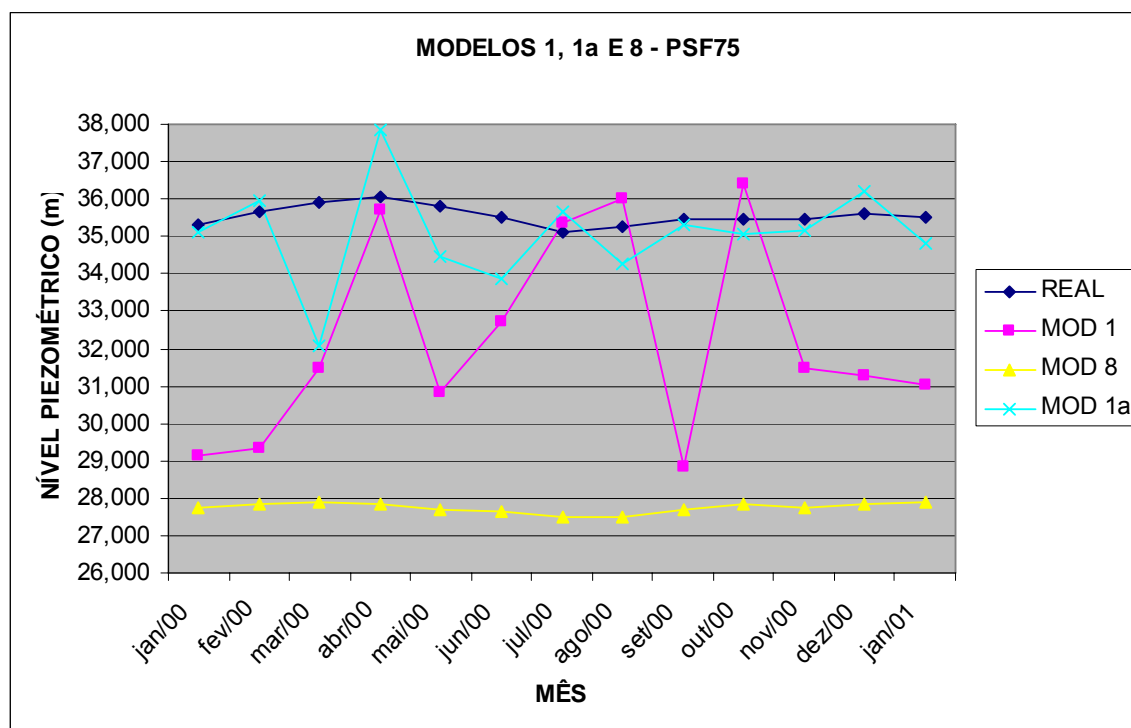


FIGURA 49 – DADOS REAIS X MODELOS 1, 1a E 8 – PSF75

4.3.3 Piezômetro PSU19

LEITURA – PSU19							
MÊS	REAL (m)	MODELOS					
		1 (X, Y e REGIÃO)		1a (X,Y)		8 (X, Y e REGIÃO)	
		RNA(m)	ERRO(m)	RNA(m)	ERRO(m)	GEO(m)	ERRO(m)
Jan/00	38,165	33,577	4,588	36,996	1,169	34,942	3,223
Fev/00	38,395	33,739	4,656	39,565	1,170	35,142	3,253
Mar/00	38,485	33,966	4,519	39,585	1,100	35,260	3,225
Abr/00	38,610	33,870	4,740	40,325	1,715	35,359	3,251
Mai/00	38,210	33,618	4,592	39,569	1,359	35,053	3,157
Jun/00	38,235	33,626	4,609	39,457	1,222	35,089	3,146
Jul/00	38,520	33,788	4,732	39,620	1,100	35,374	3,146
Ago/00	38,650	33,849	4,801	40,856	2,206	35,479	3,171
Set/00	41,895	36,337	5,558	41,836	0,059	38,435	3,460
Out/00	39,015	34,120	4,895	38,113	0,902	35,829	3,186
Nov/00	38,865	34,039	4,826	39,769	0,904	35,706	3,159
Dez/00	38,590	33,877	4,713	39,698	1,108	35,426	3,164
Jan/01	38,560	33,885	4,675	37,193	1,367	35,416	3,144
ERRO MÉDIO (m)		-	4,762	-	1,183	-	3,207

QUADRO 27 – RESULTADOS DOS MODELOS 1, 1a E 8 DO PIEZÔMETRO PSU19

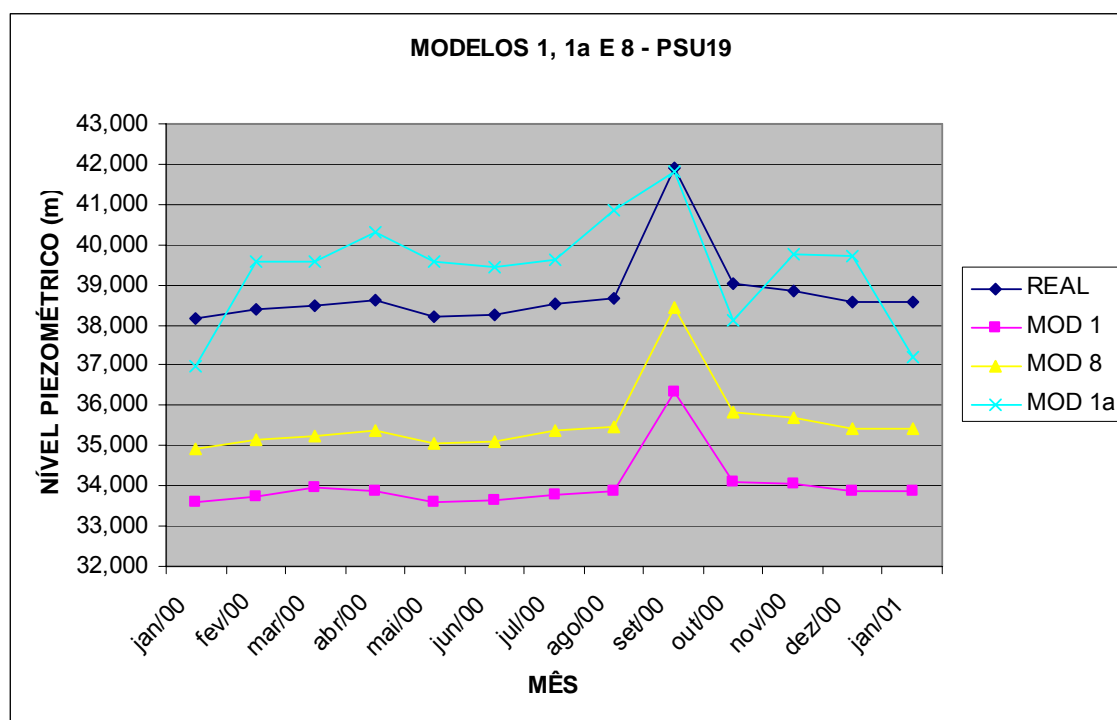


FIGURA 50 – DADOS REAIS X MODELOS 1, 1a E 8 – PSU19.

4.3.4 Análise da comparação entre as duas técnicas

Comparando-se os modelos 1 e 8, percebe-se que eles apresentam resultados distintos para os três piezômetros testados.

Os resultados obtidos por geoestatística não foram muito satisfatórios quanto ao dado previsto, com erros médios de 4,504 m para o piezômetro PSF64; 7,807 m para o piezômetro PSF75; e 3,207 para o piezômetro PSU19. Mas nos três testes realizados, os resultados mantiveram variação semelhante com os dados reais, ou seja, o modelo de geoestatística conseguiu manter a tendência de variação dos níveis piezométricos.

Para o piezômetro PSF64, o modelo 1 apresentou um erro médio menor do que o modelo 8, porém somente o modelo 8 apresenta a mesma tendência de variação das leituras ao longo de todo o período (Jan/00 a Jan/01). O modelo 1 apresenta a mesma tendência somente em alguns trechos desse período.

Com o piezômetro PSF75, os modelos comportaram-se de forma semelhante ao PSF64: o erro médio é menor no modelo por redes neurais, porém o comportamento da variação das leituras não é semelhante à real. E a geoestatística apresenta o mesmo comportamento, mas com um erro médio superior ao erro médio no teste com o piezômetro PSF64.

O teste com o piezômetro PSU19 gerou resultados diferentes. Neste caso, os dois modelos apresentaram tendências de variação dos níveis piezométricos semelhantes à variação real e, neste caso, o erro médio foi menor no modelo por geoestatística.

O modelo 1a foi inserido para mostrar que a rede neural apresenta menor erro sem a inclusão da variável de entrada “região”. Os resultados foram melhores nesse modelo em todos os três casos estudados, comparando-se com o modelo 1. O erro médio caiu de 3,255 m para 0,535 m para o piezômetro PSF64; de 3,578 m para 0,994 m para o piezômetro PSF75; e de 4,762 m para 1,183 m para o piezômetro PSU19. Este fato é bastante interessante, pois o melhor desempenho da RN se deu com menos informação, mostrando que nem sempre é necessário se aumentar a complexidade do modelo para se ter resultados satisfatórios. E, como isso, mostrou-se também que a rede neural conseguiu reconhecer a variação brusca de leituras que acontece de uma região para outra, diferente da geoestatística.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Este estudo procurou explorar as potencialidades das técnicas de redes neurais artificiais e geoestatística para o mapeamento espacial e espaço-temporal de subpressões em maciços rochosos de fundações de grandes barragens, usando-se a barragem principal de Itaipu como estudo de caso.

Escolheram-se as técnicas de redes neurais artificiais e geoestatística por serem boas ferramentas de mapeamento de variáveis, com diversas aplicações já realizadas, mostradas no capítulo 2, inclusive na área de mapeamento geotécnico. Neste trabalho, além do desenvolvimento de modelos neurais e geoestatísticos, seus desempenhos foram comparados, contribuindo-se também para um melhor entendimento dessas técnicas.

Pode-se dizer que, com os resultados apresentados, redes neurais artificiais com arquiteturas bastante simples (uma camada escondida e número de neurônios considerado baixo, 1, 2 ou 3, na maioria dos casos), foram capazes de mapear satisfatoriamente a distribuição espacial e espaço-temporal dos níveis piezométricos do maciço de fundação da barragem de Itaipu.

Mostrou-se que a modelagem espacial apresentou bons resultados utilizando-se os gradientes de leituras nas simulações. Isto mostra a importância de se considerar a amplitude de variação dos dados. Como, neste caso, os valores de leituras originais variavam muito de um instrumento para o outro, devido ao fato dos mesmos terem valores de controle muito diferentes, a variabilidade das leituras ao longo do tempo não era bem percebida pelos modelos neurais. Quando se utilizaram os gradientes de leituras como entrada, representando a grandeza de maior interesse à análise geotécnica, que é a variação das leituras ao longo do tempo, os modelos tiveram seu comportamento melhorado. Por exemplo, o instrumento PSU67, que apresentou um erro de 2,145 m no modelo 2, que utilizou leituras originais, teve o erro diminuído para 0,273 m no modelo 5, que utilizou o gradiente de leituras.

A distribuição espaço-temporal apresentou bons resultados tanto utilizando as leituras reais quanto o gradiente de leituras. Os modelos 3 e 4, que tinham como entrada a localização e as leituras passadas reais dos instrumentos e os modelos 6 e 7, que tinham como entrada a localização e os gradientes de leituras passadas, todos esses modelos apresentaram bons resultados, mostrando a importância de se utilizar dados temporais, tanto leituras reais como gradientes, nas previsões por redes neurais artificiais.

A análise por geoestatística mostrou ser capaz de reconhecer a tendência ao longo do tempo das variações dos níveis piezométricos. Os resultados das previsões espaciais tiveram um erro médio alto, porém a previsão apresentou variação semelhante aos dados reais, como mostrado nos quadros 26, 27 e 28 e nas figuras 48, 49 e 50, onde erros médios de 4,504 m, 7,807 m e 3,207 m foram encontrados.

Os mapas gerados pelas duas técnicas facilitaram muito a visualização e identificação das regiões que apresentaram maior variação de subpressões, sendo estas regiões de grande interesse geotécnico. Em geral, estas variações nas leituras dos piezômetros estão relacionadas a variações do NA de montante e jusante, a condicionantes geológicas e à própria operação dos instrumentos.

Desta forma, o mapeamento realizado mostrou-se um bom instrumento de diagnóstico de mudanças de comportamento da barragem, de suas estruturas anexas e do maciço de fundação.

Estes modelos de previsão de leituras, bem como de mapeamento de níveis piezométricos, consistem em uma ferramenta inovadora e muito útil à equipe responsável pela análise do comportamento de grandes barragens, facilitando a identificação de regiões onde a variação da piezometria se dá de maneira não esperada. Assim, podem ser incorporados aos sistemas de apoio à decisão relacionados à segurança de barragens, aumentando a eficiência e a velocidade de ações no processo de tomada de medidas mitigadoras de problemas nesse tipo de obra de engenharia.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para a continuidade deste trabalho, sugere-se:

- Utilização de novas variáveis de entrada para os modelos de redes neurais e geoestatística, como leituras de outros tipos de instrumentos, nível do reservatório etc.;
- Fazer o mapeamento tridimensional para geoestatística, utilizando instrumentos de todas as feições.
- Fazer o mapeamento tridimensional para redes neurais, utilizando diferentes técnicas de interpolação para a predição de níveis piezométricos na malha de pontos intermediários gerados, usando todas as feições;
- Expandir a área de análise, tanto por redes neurais como por geoestatística.
- Fazer a análise das séries temporais dos dados de instrumentação, com estimação e previsão de valores de controle, através de redes neurais e também outros métodos estatísticos, para maiores períodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIEVC – **Análise de Incertezas e Estimação de Valores de Controle para o Sistema de Monitoração Geotécnico-Estrutural na Barragem de Itaipu**. Projeto de pesquisa submetido ao Edital FINEP – CTHIDRO – Segurança de Barragens, 2005.

ANDRAOS, N. C., SANCHEZ, P. F., DYMINSKI, A. S.; RIBEIRO Jr, P. J.; OSAKO, C. I. **Mapeamento Geoestatístico de Subpressões no Maciço de Fundação da Barragem de Itaipu**. Anais do COBRAMSEG 2008, Búzios - RJ, Brasil, 2008.

ANDRIOTTI, J. L. S.; **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003.

B.C.HYDRO. **Maintenance, Engineering and Projects. Report no. MEP11-5 – How safe is you dam? Is it safe enough?**, British Columbia, Canadá, 1995.

BISHOP, C. M. **Neural networks for pattern recognition**. Oxford: Clarendon Press, 1995

BRAGA, L. P. V.; **Geoestatística e aplicações**. Sinape. São Paulo, 1990.

BRAGA, P.A.; CARVALHO, A.; LUDEMIR, T. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**, Livro Técnico e Científico, Rio de Janeiro, 2000.

CARDIA, Rubens. **Notas de Aula – Curso de Segurança de Barragens – CSEB**. Bauru, São Paulo, 2004.

CARVALHO, J. V., **Aplicação de redes neurais na análise das medidas temporais de vazão em barragens**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2005.

CBGB. **Diretrizes para a Inspeção e Avaliação de Segurança de Barragens em Operação**. Rio de Janeiro, 1983.

CMB - COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. **Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões**. Inglaterra: Earthscan Plublications, 2000.

CRUZ, Paulo T. **100 Barragens Brasileiras**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

DIBIAGIO, E., **Question 78 - Monitoring of Dams and Their Foundations – General Report**. Twentieth Congress on Large Dams, ICOLD, Pequim, 2000.

DIGGLE, P.J., RIBEIRO JR, P.J.; **Model based geostatistics**. Springer, New York, NY, USA, 2007.

DRUCK, S., CARVALHO, M. S., CÂMARA, G., & MONTEIRO, A. M. V.; **Análise Espacial de Dados Geográficos**. EMBRAPA. 2004.

DUARTE, Joaquim M. G. **Instrumentação Geotécnica de Obras Hidrelétricas Brasileiras: Alguns Casos Práticos Atuais**. Anais do COBRAMSEG 2006, Curitiba, Brasil, 2006.

DUNNICLIFF, John. **Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance**. Canada: Wiley, 1988.

DYMINSKI, A. S.; **Análise de problemas geotécnicos através de redes neurais**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

DYMINSKI, A. S. ; RIBEIRO, E. P. ; KORMANN, A. ; SHUTTLE, D. ; HOWIE, J. . **Interpolation Methods and Neural Networks Applied to Geotechnical Mapping of a Brazilian Port Site**. GEOCONGRESS 2006 - Geotechnical Engineering in the Information Technology Age, 2006, Atlanta. Proc. of. Atlanta : ASCE - American Society of Civil Engineers - Geo-Institute, 2006a.

DYMINSKI, A.S., HOWIE, J., SHUTTLE, D. AND KORMANN, A., **Variability Analysis of SPT and CPT data for a Reliability-based Embankment Design of a Southern Brazilian Port Site**, Anais do III Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, 2006b.

ELETROBRÁS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. CBDB, 2003

ENGLUND, E.; SPARKS, A.; **Geo-EAS (Geoestatistical Environmental Assessment Software)**. Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency. 1988.

FERREIRA, O. C. **Entropia, economia e desenvolvimento social**. Acessado em 04/12/2006. Disponível em <http://ecen.com/content/eee2/entropia.htm>.

GANGOPADHYAY, S.; GAUTAM, T. R. and GUPTA, A. D. **Subsurface characterization using artificial neural networks and GIS**. ASCE Journal of computing in civil engineering, vol. 13, nº.3, July, 1999.

GEOESTATÍSTICA ONLINE. (2007). **Geoestatística On Line**. Acessado em 07 de novembro de 2007. Disponível em <http://www.igc.usp.br/subsites/geoestatistica/>

GHABOUSSI, J.; GARRET JR., J. H.; WU, X. **Knowledge-based modeling of material behavior with neural networks**. ASCE Journal of engineering mechanics, vol.117, n.º1, January, 1991

GUTIÉRREZ, João L. C. **Monitoramento da Instrumentação da Barragem de Corumbá-I por Redes Neurais e Modelos de Box & Jenkins**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2003.

HAYKIN, Simon. **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**, Prentice-Hall, 1999.

ICOLD – **International Commission on Large Dams**. Acessado em: 27/10/2006 Disponível em: <http://www.icold-cigb.org>

ITAIPU. **ITAIPU Binacional**. Acessado em: 12/08/2008. Disponível em: <http://www.itaipu.gov.br/>

JUANG, C. H. ; JIANG, T. **Site characterization using generalized regression neural networks**, Computer methods and Advances in Geomechanics, Desai *et al.* Eds., Balkema, Rotterdam, 2001.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da Unesp, 1998.

LI, J TAYLOR, G. E KIDNER, D.B., **Accuracy and reliability of map-matched GPS coordinates: the dependence on terrain model resolution and interpolation algorithm**. Computers & Geosciences 31, 2005.

LIGOKI, P. L. **Comportamento Geotécnico da Barragem de Curuá-Uma, Pará**. . Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2003.

MATLAB. **Neural Network Toolbox Tutorial**. The Math Works Inc. Prentice Hall, 2004.

MCBRATNEY, A.B., MENDONÇA SANTOS, M.L., MINASNY, B.; **On digital soil mapping**, Geoderma, Vol. 117, 2003

MIGUEL, K. G. **Energia, economia e mercado**. Acessado em 05/12/2006. Disponível em <http://www.comciência.br>.

MIQUELETTO, M. E DYMINSKI, A.S., **Mapeamento do Nspt do subsolo da região central de Curitiba usando modelo neural de dois estágios**. Anais do GEOSUL 2004 – IV Simpósio de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Curitiba, PR, 2004.

OSAKO, C. I. **A Manutenção dos Drenos nas Fundações de Barragens – O Caso da Usina Hidrelétrica de Itaipu**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

PARK, S.J. & VLEK, P.L.G., **Environmental correlation of three-dimensional soil spatial variability: a comparison of three adaptive techniques**. Geoderma, v.109, 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM.; **R: “A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria, 2006.

RIBEIRO JR, P.J., DIGGLE, P.J.; **geoR: a package for geostatistical analysis**. R-NEWS, 1(2):15-18. 2001,

RIBEIRO, E. P. ; DYMINSKI, A. S. ; KORMANN, A. M. . **Evaluation Of Local And Global Interpolation Using Neural Networks For Geotechnical Mapping Of A Brazilian Port Site**. Proc. of XXVIII CILAMCE - Congresso Ibero-Latino Americano de Metodos Computacionais em Engenharia, Porto, Portugal, 2007

ROBINSON, T.P. E METTERNICHT, G., **Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties**, Computers and Electronics in Agriculture 50 pp 97–108. 2006

SANCHEZ, P. F., ANDRAOS, N. C., DYMINSKI, A. S.; RIBEIRO Jr, P. J.; OSAKO, C. I.. **Mapeamento Geoestatístico e Avaliação de Variações de Subpressões no Maciço de Fundação da Barragem de Itaipu**. Anais do C3N 2008, Foz do Iguaçu – PR, Brasil, 2008.

Saré, A. R.; Ligocki, L. P.; Sayão, A.; Gerscovich, D. M.; Pinheiro, G. F., 2006. **Revisão das Condições de Segurança da Barragem de Curuá-Uma (PA)**. Anais do COBRAMSEG 2006, Curitiba, Brasil.

SILVEIRA, João F. A. **Instrumentação e Comportamento de Fundações de Barragens de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

TOLL, D. **Artificial intelligence applications in geotechnical engineering**. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, <http://geotech.civen.okstate.edu/ejge/ppr9608> , 1996.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Instrumentation of embankment dams and levees**. Engineering and Design. Engineer Manual N° 1110-2-1908, Washington, DC 20314-1000. Chapter 3, 30 June, 1995

VEIGA, J.; INOUE, N.; DYMINSKY, A. ; ROMANEL, C. **Distribuição espacial dos valores de N-SPT por métodos geoestatísticos e redes neurais**. XII COMBRAMSEG Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, 2002.

VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C.; MARTINS, A.L.M. & BOTOLETO, N.; **Mapeamento de Atributos de Solo e Planta Usando Geoestatística**. ESALQ 2000, Piracicaba, Brasil, 2000.

ZHOU, B., ZHANG, X. & WANG, R., **Automated soil resources mapping based on decision tree and Bayesian predictive modeling**. J. of Zhejiang University Science, v.5, n.7, pp782-795. 2004.

ZIMBACK, C. R. L. **Apostila de Geoestatística**. Botucatu, 2003.

ZURADA, Jacek M. **Introduction to artificial neural systems**: Boston, Mass. PWS, 1992.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – ROTINAS UTILIZADAS NAS ANÁLISES POR REDES NEURAIIS: ESCOLHA DA ARQUITETURA DA REDE E ESCOLHA DA MELHOR REDE.....	110
APÊNDICE 2 – ROTINA UTILIZADA NAS ANÁLISES POR GEOESTATÍSTICA ..	113
APÊNDICE 3 – RESULTADOS DA ESCOLHA DA ARQUITETURA PARA REDE NEURAL.....	115

APÊNDICE 1 – ROTINAS UTILIZADAS NAS ANÁLISES POR REDES NEURAIS:

ESCOLHA DA ARQUITETURA DA REDE E ESCOLHA DA MELHOR REDE

A) ESCOLHA DA ARQUITETURA

```
function [numero_neuronios_treinamento erro_melhor_arquitetura_treinamento
erro_teste_melhor_arq_tr numero_neuronios_teste
erro_melhor_arquitetura_teste erro_trein_melhor_arq_tes matriz_tr
matriz_te]=varias_redes4(E,S,maxneuro,rep)

n_instrumentos=size(E,2)
{n_instrumentos = número de instrumentos = numero de colunas dos dados de
entrada (E)}

for y=1:maxneuro
{maxneuro = número máximo de neurônios que será testado}

{Leave one out}
    for x=1:n_instrumentos

{separando os conjuntos de treinamento e teste do sistema leave one out}
{p = entrada do treinamento; p1 = entrada do teste; t = saída do
treinamento; t1 = saída do teste}
        performance=inf;
        p=E;
        p(:,x)=[];
        p1=E(:,x);

        t=S;
        t(:,x)=[];
        t1=S(:,x);

        for m=1:rep
{rep = número de inicializações da rede}

{parâmetros da rede neural}
            net=newff(minmax(p),[y,1],{'logsig','purelin'},'trainlm');
            net.trainParam.show = nan;
            net.trainParam.lr = 0.01;
            net.trainParam.epochs = 80;
            net.trainParam.goal = 1e-5;
            test.P=p1;
            test.T=t1;
            [net,tr]=train(net,p,t,[],[],[],test);
            if( (tr.tperf(end))<performance)
                performance_teste=tr.tperf(end);
                performance_treina=tr.perf(end);
{performance de teste: utiliza o valor final}

        end
```

```

    end

    perfor_treino(x,y)=performance_treina;
    {matriz com os erros (performance) de treinamento}

    perfor_teste(x,y)=performance_teste;
    {matriz com os erros de teste}

    end

end

m_c_a_tr = sum(perfor_treino)/(n_instrumentos-1);
{média dos erros de treinamento}

m_c_a_tes = sum(perfor_teste)/(n_instrumentos-1);
{média dos erros de teste}

{mostra a melhor arquitetura de treinamento e de teste}
melhor_arquitetura_treino=find( m_c_a_tr == min(m_c_a_tr));
melhor_arquitetura_teste=find( m_c_a_tes == min(m_c_a_tes));

numero_neuronios_treinamento= melhor_arquitetura_treino;
numero_neuronios_teste=melhor_arquitetura_teste;

erro_melhor_arquitetura_treinamento=m_c_a_tr(numero_neuronios_treinamento);
erro_melhor_arquitetura_teste=m_c_a_tes(numero_neuronios_teste);

erro_teste_melhor_arq_tr=m_c_a_tes(numero_neuronios_treinamento);
erro_trein_melhor_arq_tes=m_c_a_tr(numero_neuronios_teste);

matriz_tr=m_c_a_tr;
matriz_te=m_c_a_tes;

```

B) ESCOLHA DA MELHOR REDE

```

{escolha da melhor rede, com a arquitetura já definida}
{p = entrada do treinamento; pl = entrada do teste; t = saída do
treinamento; tl = saída do teste}

function rede=varias_redes(p,t,pl,tl,maxneuro,rep)

performance=Inf;
for n=maxneuro:maxneuro
    n=n
    performance=performance
    for m=1:rep
        net=newff(minmax(p),[n,1],{'tansig','purelin'},'trainlm');
        net.trainParam.show = 20;
        net.trainParam.lr = 0.01;
    end
end

```

```
net.trainParam.epochs = 80;
net.trainParam.goal = 1e-5;
test.P=p1;
test.T=t1;
[net,tr]=train(net,p,t,[],[],[],test);
if(min(tr.tperf)<performance)
    performance=tr.tperf(end);
    melhor_rede=net;
end
net=init(net);
end
rede=melhor_rede;
end
```

APÊNDICE 2 – ROTINA UTILIZADA NAS ANÁLISES POR GEOESTATÍSTICA

```

require(geoR)
par.ori <- par(no.readonly=TRUE)
## lendo dados e preparando objeto de dados
fu <- read.geodata("2000_2001/FUjan_00cov22.txt", covar.col=4:5,
covar.names=c("area", "cota"))
fu$borders <- read.table("F_U_Dados/contorno.txt")
fu$others <- lapply(1:4, function(i) read.table(paste("F_U_Dados/reg", i, ".txt",
sep="")))
names(fu$others) <- paste("reg", 1:4, sep="")
## resumo dos dados
summary(fu)
## relações com covariáveis
par(mfrow=c(1,3))
with(fu, plot.default(data ~covariate$area))
with(fu, plot(data ~covariate$cota))
with(fu, plot(resid(lm(data~covariate$area) ~covariate$cota))
par(par.ori)
with(fu, coplot(data ~covariate$cota|covariate$area))
## exploração espacial
points(fu, cex.min=0.8, cex.max=3)
text(280, 440, "Abril 2000")
sapply(fu$others, polygon)
plot(fu)
plot(fu, trend=~area)
plot(fu, trend=~cota)
plot(fu, trend=~area+cota)
points(fu, trend=~area)
points(fu, trend=~cota)
points(fu, trend=~area+cota)
par(mfrow=c(2,2))
plot(variog(fu, uvec=seq(0,200, l=10)))
plot(variog(fu, trend=~area, uvec=seq(0,200, l=10)))
plot(variog(fu, trend=~cota, uvec=seq(0,200, l=10)))
plot(variog(fu, trend=~area+cota, uvec=seq(0,200, l=10)))
par(par.ori)
fu.lik <- list()
fu.lik$ml1 <- likfit(fu, ini=c(20, 15), nug=10)
fu.lik$ml2 <- likfit(fu, trend=~area, ini=c(20, 15), nug=10)
fu.lik$ml1
fu.lik$ml2
sapply(fu.lik, function(x) x[c("loglik", "AIC", "BIC")])
##gerando o grid de pontos
gr0 <- pred_grid(fu$borders, by=2.5)
gr <- polygrid(gr0, bor=fu$borders)
points(fu)
points(gr, pch=21, col=2, cex=0.2)

```

```

gr.area <- character(nrow(gr))
gr.area[.geoR_inout(gr, poly=fu$others$reg1)] <- "a"
gr.area[.geoR_inout(gr, poly=fu$others$reg2)] <- "b"
gr.area[.geoR_inout(gr, poly=fu$others$reg3)] <- "c"
gr.area[.geoR_inout(gr, poly=fu$others$reg4)] <- "d"
points(gr[gr.area=="a",], pch="+", col=1)
points(gr[gr.area=="b",], pch="+", col=3)
points(gr[gr.area=="c",], pch="+", col=4)
points(gr[gr.area=="d",], pch="+", col=5)
## krigagem
## opcao 1: predição usando somente a área (usa modelo 2)
KC2 <- krige.control(trend.d=~area, trend.l=~gr.area, obj=fu.lik$ml2)
## realizando a predição espacial
kr2 <- krige.conv(fu, loc=gr0, borders=fu$borders, krige=KC2)
image(kr2, col=heat.colors(100), x.leg=c(50, 250), y.leg=c(0,30))
contour(kr2, add=T, nlev=100)
title("Mapeamento de Níveis Piezométricos do Trecho Principal
      da Barragem de Itaipu - Contato A/B - Jan/00")
## validacao cruzada
args(xvalid)
xv <- xvalid(fu, model=fu.lik$ml2)
names(xv)
xv$data
xv$pred
xv$data[18]
xv$pred[18]
xv$data[1:10]
xv$pred[1:10]
plot(xv$pred,xv$data)
par(mfrow=c(5,2))
plot(xv)
par(par.ori)
args(plot.xvalid)

```

APÊNDICE 3 – RESULTADOS DA ESCOLHA DA ARQUITETURA PARA REDE NEURAL

MODELO 3 - PSF1/13																					
NÚMERO DE NEURÓNIOS																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Jan/00	erro treinamento	0,00024	0,00023	0,00021	0,00020	0,00018	0,00016	0,00015	0,00013	0,00012	0,00011	0,00010	0,00009	0,00008	0,00008	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005
	erro teste	0,00026	0,00101	0,00042	0,00030	0,00041	0,00044	0,00058	0,00068	0,00052	0,00067	0,00124	0,00186	0,00216	0,00110	0,00194	0,00071	0,00275	0,00138	0,00302	0,00590
fev/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00002	0,00001	0,00005	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00004	0,00001	0,00002	0,00006	0,00002	0,00007	0,00008	0,00009	0,00006	0,00022	0,00008
mar/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00001	0,00011	0,00001	0,00002	0,00004	0,00009	0,00001	0,00002	0,00003	0,00003	0,00002	0,00003	0,00007	0,00003	0,00002	0,00006	0,00003	0,00008
abr/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00004	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00001	0,00004	0,00002	0,00002	0,00002	0,00018	0,00007	0,00001	0,00005
mai/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00001	0,00002	0,00004	0,00001	0,00001	0,00003	0,00005	0,00009	0,00011	0,00003	0,00005	0,00006	0,00006	0,00002
jun/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00003	0,00003	0,00002	0,00003	0,00016	0,00004	0,00031	0,00031	0,00017	0,00007	0,00006	0,00004	0,00008	0,00007	0,00011	0,00005	0,00005	0,00015	0,00047	0,00054
jul/00	erro treinamento	0,00035	0,00030	0,00025	0,00021	0,00016	0,00013	0,00009	0,00008	0,00007	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00045	0,00059	0,00050	0,00051	0,00080	0,00079	0,00113	0,00143	0,00093	0,00381	0,00338	0,04143	0,00150	0,00090	0,00142	0,00351	0,00217	0,00324	0,00253	0,00259
ago/00	erro treinamento	0,00034	0,00016	0,00014	0,00012	0,00009	0,00007	0,00006	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00023	0,00025	0,00024	0,00034	0,00035	0,00118	0,00686	0,00273	0,00037	0,00072	0,00579	0,00643	0,00104	0,00157	0,00446	0,00446	0,00095	0,00175	0,00052	0,00117
set/00	erro treinamento	0,00006	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00007	0,00007	0,00010	0,00011	0,00011	0,00011	0,00013	0,00021	0,00019	0,00053	0,00024	0,00050	0,00021	0,00096	0,00032	0,00053	0,00021	0,00024	0,00027	0,00125
out/00	erro treinamento	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00003	0,00002	0,00013	0,00005	0,00008	0,00003	0,00007	0,00004	0,00003	0,00021	0,00004	0,00015	0,00007	0,00003
nov/00	erro treinamento	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00003	0,00003	0,00004	0,00002	0,00003	0,00005	0,00012	0,00011	0,00005	0,00003	0,00003	0,00007	0,00014	0,00012	0,00009	0,00007	0,00006	0,00018	0,00011	0,00007
dez/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00004	0,00006	0,00006	0,00006	0,00008	0,00007	0,00011	0,00010	0,00006	0,00007	0,00007	0,00010	0,00011	0,00016	0,00046	0,00012	0,00031	0,00027	0,00037
jan/01	erro treinamento	0,00011	0,00010	0,00009	0,00007	0,00005	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00012	0,00012	0,00017	0,00014	0,00017	0,00037	0,00018	0,00120	0,00039	0,00042	0,00019	0,00022	0,00044	0,00031	0,00048	0,00206	0,00049	0,00084	0,00098	0,00040
	MENOR MÉDIA DE ERROS TREINAMENTO																				
	PSF1/13 - MELHOR NRO DE NEURÓNIOS = 1																				
	MENOR MÉDIA DE ERROS TESTE																				

MODELO 3 - PSU67																						
		NÚMERO DE NEURÔNIOS																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
jan/00	erro treinamento	0,00025	0,00024	0,00022	0,00020	0,00019	0,00017	0,00016	0,00014	0,00012	0,00011	0,00010	0,00009	0,00008	0,00008	0,00008	0,00008	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00005
	erro teste	0,00027	0,00028	0,00030	0,00039	0,00041	0,00056	0,00042	0,00111	0,00067	0,00060	0,00052	0,00109	0,00147	0,005970	0,00090	0,00471	0,00118	0,00118	0,00210	0,00675	0,00505
fev/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00008	0,00003	0,00003	0,00003	0,00004	0,00003	0,00005	0,00004	0,00006	0,00005
mar/00	erro treinamento	0,00020	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00018	0,00002	0,00001	0,00008	0,00003	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00003	0,00008	0,00002	0,00001	0,00002	0,00004	0,00001	0,00001	0,00002	0,00010	0,00009
abr/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0,00003	0,00002	0,00001	0,00001	0,00008	0,00013	0,00001	0,00003	0,00001	0,00001	0,00003	0,00006	0,00002	0,00003	0,00023	0,00004
mai/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00002	0,00006	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00006	0,00002	0,00006	0,00010	0,00008	0,00003	0,00003	0,00003	0,00010	0,00003	0,00002	0,00003	0,00006
jun/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00005	0,00003	0,00004	0,00008	0,00006	0,00026	0,00004	0,00016	0,00050	0,00013	0,00038	0,00012	0,00013	0,00013	0,00012	0,00037	0,00005	0,00010	0,00012	0,00006
jul/00	erro treinamento	0,00046	0,00031	0,00026	0,00021	0,00017	0,00013	0,00010	0,00008	0,00007	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00047	0,00057	0,00052	0,00046	0,19906	0,00084	0,00072	0,00156	0,00608	0,00200	0,00504	0,00104	0,00676	0,00286	0,00112	0,01049	0,00463	0,00217	0,00223	0,00117	0,00117
ago/00	erro treinamento	0,00019	0,00017	0,00014	0,00012	0,00009	0,00006	0,00006	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00023	0,00026	0,00027	0,00030	0,00043	0,00743	0,00076	0,00068	0,00030	0,00134	0,00280	0,00084	0,00042	0,00058	0,00176	0,00073	0,00133	0,00143	0,00309	0,00177	0,00177
set/00	erro treinamento	0,00006	0,00021	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00007	0,00012	0,00008	0,00008	0,00012	0,00014	0,00011	0,00035	0,00019	0,00022	0,00033	0,00013	0,00022	0,00026	0,00023	0,00017	0,00020	0,00028	0,00041	0,00070	0,00070
out/00	erro treinamento	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003	0,00004	0,00003	0,00002	0,00004	0,00003	0,00004	0,00007	0,00005	0,00005	0,00004	0,00010	0,00008	0,00008
nov/00	erro treinamento	0,00002	0,00018	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00003	0,00004	0,00003	0,00004	0,00005	0,00006	0,00004	0,00008	0,00007	0,00006	0,00004	0,00006	0,00003	0,00012	0,00007	0,00008	0,00019	0,00005	0,00007	0,00081	0,00081
dez/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00005	0,00005	0,00012	0,00007	0,00006	0,00005	0,00024	0,00009	0,00014	0,00008	0,00008	0,00012	0,00013	0,00007	0,00007	0,00007	0,00010	0,00009	0,00013	0,00013
jan/01	erro treinamento	0,00011	0,00010	0,00009	0,00007	0,00006	0,00005	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00012	0,00013	0,00015	0,00018	0,00019	0,00016	0,00019	0,00020	0,00020	0,00042	0,00022	0,00030	0,00042	0,00039	0,00032	0,00033	0,00032	0,00054	0,00030	0,00020	0,00029
		PSU67 - MELHOR NRO DE NEURÓNIOS = 1																				
		</																				

MODELO 3 - PSH51																					
		NÚMERO DE NEURÔNIOS																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
jan/00	erro treinamento	0,00025	0,00024	0,00022	0,00020	0,00019	0,00017	0,00015	0,00014	0,00013	0,00011	0,00010	0,00009	0,00009	0,00008	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005
	erro teste	0,00027	0,00027	0,00030	0,00031	0,00044	0,00042	0,00079	0,00042	0,00088	0,00055	0,00037	0,00228	0,00213	0,00106	0,00150	0,00155	0,00131	0,00320	0,00110	0,00138
fev/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00003	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00008	0,00003	0,00004	0,00004	0,00003	0,00007	0,00005	0,00005	0,00004
mar/00	erro treinamento	0,00012	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00003	0,00008	0,00002	0,00001	0,00002	0,00004	0,00001	0,00003	0,00003	0,00010
abr/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0,00003	0,00002	0,00001	0,00002	0,00009	0,00017	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0,00002	0,00006	0,00002	0,00003	0,00004
mai/00	erro treinamento	0,00014	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00004	0,00003	0,00004	0,00002	0,00002	0,00007	0,00004	0,00004	0,00003	0,00008	0,00008	0,00007	0,00006	0,00003	0,00008	0,00020
jun/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00005	0,00003	0,00005	0,00006	0,00006	0,00030	0,00130	0,00016	0,00005	0,00013	0,00051	0,00010	0,00008	0,00011	0,00040	0,00005	0,00016	0,00012	0,00008
jul/00	erro treinamento	0,00035	0,00031	0,00026	0,00021	0,00017	0,00013	0,00010	0,00008	0,00006	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00045	0,00091	0,00144	0,00080	0,00100	0,00204	0,00103	0,00166	0,00096	0,01470	0,00135	0,02866	0,00259	0,00372	0,00158	0,00555	0,00294	0,00332	0,00268	0,00435
ago/00	erro treinamento	0,00035	0,00017	0,00014	0,00011	0,00009	0,00008	0,00006	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00023	0,00025	0,00024	0,00025	0,00029	0,00027	0,00048	0,00039	0,00069	0,00044	0,00121	0,00727	0,00108	0,00070	0,00323	0,00269	0,00118	0,00225	0,00127	0,00122
set/00	erro treinamento	0,00006	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00007	0,00008	0,00010	0,00011	0,00010	0,00009	0,00010	0,00012	0,00016	0,00018	0,00010	0,00141	0,00033	0,00076	0,00031	0,00018	0,00018	0,00043	0,00030	0,00036
out/00	erro treinamento	0,00002	0,00018	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00009	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00060	0,00005	0,00003	0,00003	0,00003	0,00004	0,00007	0,00004	0,00004	0,00004
nov/00	erro treinamento	0,00020	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00042	0,00003	0,00004	0,00003	0,00004	0,00006	0,00005	0,00004	0,00006	0,00004	0,00004	0,00006	0,00005	0,00008	0,00006	0,00006	0,00005	0,00011	0,00015	0,00005
dez/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00004	0,00005	0,00008	0,00005	0,00006	0,00007	0,00012	0,00015	0,00006	0,00013	0,00012	0,00005	0,00008	0,00012	0,00022	0,00010	0,00092	0,00007	0,00011
jan/01	erro treinamento	0,00011	0,00010	0,00009	0,00007	0,00006	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00012	0,00013	0,00014	0,00014	0,00017	0,00020	0,00021	0,00018	0,00021	0,00035	0,00026	0,00027	0,00035	0,00031	0,00037	0,00037	0,00043	0,00045	0,00053	0,00068
		PSH51 - MELHOR NRO DE NEURORIOS = 1																			

MODELO 4 - PSF32																					
NÚMERO DE NEURÔNIOS																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
jan/00	erro treinamento	0,00024	0,00021	0,00017	0,00015	0,00012	0,00011	0,00010	0,00009	0,00008	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004
	erro teste	0,00033	0,00040	0,00021	0,00020	0,00025	0,00026	0,00043	0,00077	0,00431	0,00049	0,00043	0,00031	0,00141	0,00070	0,00123	0,00086	0,01742	0,00099	0,00236	0,00131
fev/00	erro treinamento	0,00013	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00003	0,00002	0,00003	0,00003	0,00002	0,00004	0,00006	0,00005	0,00003	0,00002	0,00009	0,00003
mar/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00003	0,00001	0,00004	0,00003	0,00002	0,00001	0,00003	0,00001	0,00004	0,00001	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00004	0,00004	0,00002	0,00002
abr/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00004	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00019	0,00002	0,00002	0,00004
mai/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00003	0,00002	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00003	0,00009	0,00005	0,00011	0,00002	0,00002	0,00007	0,00004	0,00007	0,00006	0,00002
jun/00	erro treinamento	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00005	0,00010	0,00009	0,00007	0,00012	0,00020	0,00034	0,00009	0,00018	0,00053	0,00004	0,00012	0,00008	0,00039	0,00005	0,00008	0,00006	0,00010	0,00010
jul/00	erro treinamento	0,00010	0,00022	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00013	0,00015	0,00022	0,00017	0,00168	0,00037	0,00023	0,00032	0,00032	0,00041	0,00020	0,00129	0,00020	0,00088	0,00243	0,00503	0,00048	0,00032	0,00084	0,00033
ago/00	erro treinamento	0,00018	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00005	0,00005	0,00004	0,00002	0,00003	0,00002	0,00008	0,00003	0,00005	0,00007	0,00011	0,00006	0,00006	0,00009	0,00005	0,00005	0,00008	0,00004	0,00012	0,00006
set/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00003	0,00003	0,00005	0,00008	0,00005	0,00005	0,00006	0,00026	0,00006	0,00005	0,00001	0,00021	0,00007	0,00007	0,00004	0,00007	0,00005	0,00008	0,00006
out/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00009	0,00002	0,00003	0,00003	0,00002	0,00006	0,00012	0,00002	0,00012	0,00005	0,00017	0,00007
nov/00	erro treinamento	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00003	0,00002	0,00003	0,00002	0,00006	0,00004	0,00005	0,00002	0,00007	0,00004	0,00008	0,00008	0,00004	0,00004	0,00008	0,00006	0,00005	0,00006	0,00006	0,00004
dez/00	erro treinamento	0,00001	0,00017	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00001	0,00042	0,00001	0,00002	0,00001	0,00001	0,00004	0,00002	0,00002	0,00004	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00013	0,00007
jan/01	erro treinamento	0,00024	0,00007	0,00005	0,00004	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00022	0,00009	0,00010	0,00012	0,00011	0,00012	0,00019	0,00011	0,00012	0,00012	0,00013	0,00012	0,00011	0,00011	0,00017	0,00018	0,00013	0,00019	0,00019	0,00019
	MENOR MÉDIA DE ERROS TREINAMENTO																				
	PSF32 - MELHOR NRO DE NEURÔNIOS = 4																				

MODELO 4 - PSU16																						
		NÚMERO DE NEURÓNIOS																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
jan/00	erro treinamento	0,00032	0,00022	0,00018	0,00015	0,00012	0,00011	0,00010	0,00009	0,00008	0,00008	0,00007	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004
	erro teste	0,00038	0,00045	0,00073	0,00046	0,00020	0,00032	0,00078	0,00102	0,00027	0,00102	0,00039	0,00066	0,00095	0,00047	0,00097	0,00097	0,00078	0,00107	0,00071	0,00091	0,00141
fev/00	erro treinamento	0,00024	0,00022	0,00017	0,00015	0,00013	0,00011	0,00010	0,00009	0,00008	0,00008	0,00007	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004
	erro teste	0,00034	0,00035	0,00032	0,00028	0,00031	0,00055	0,00031	0,00033	0,00085	0,00058	0,00047	0,00076	0,00068	0,00095	0,00048	0,00079	0,00055	0,00129	0,00130	0,00169	0,00189
mar/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00004	0,00002	0,00002	0,00003	0,00001	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00003
abr/00	erro treinamento	0,00014	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00003	0,00001	0,00001	0,00004	0,00001	0,00004	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00004	0,00004	0,00001
mai/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00003	0,00003	0,00003	0,00001	0,00009	0,00002	0,00003	0,00002	0,00005	0,00003	0,00005	0,00006	0,00006	0,00007	0,00007	0,00003	0,00002
jun/00	erro treinamento	0,00016	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00005	0,00006	0,00006	0,00015	0,00022	0,00012	0,00008	0,00010	0,00007	0,00015	0,00015	0,00005	0,00026	0,00008	0,00015	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
jul/00	erro treinamento	0,00010	0,00007	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00013	0,00020	0,00020	0,00021	0,00054	0,00319	0,00031	0,00047	0,00566	0,00209	0,00063	0,00039	0,00027	0,00193	0,00031	0,00023	0,00107	0,00134	0,00038	0,00108	0,00108
ago/00	erro treinamento	0,00003	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00003	0,00003	0,00002	0,00003	0,00009	0,00005	0,00006	0,00007	0,00005	0,00005	0,00008	0,00008	0,00004	0,00004	0,00012	0,00007	0,00006	0,00017	0,00003	0,00003
set/00	erro treinamento	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00004	0,00004	0,00004	0,00005	0,00006	0,00016	0,00005	0,00010	0,00008	0,00008	0,00006	0,00011	0,00005	0,00047	0,00013	0,00009	0,00013	0,00005	0,00008	0,00001	0,00015
out/00	erro treinamento	0,00048	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00062	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00006	0,00006	0,00002	0,00003	0,00003	0,00007	0,00007	0,00003	0,00021	0,00012	0,00066	0,00066
nov/00	erro treinamento	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00003	0,00003	0,00002	0,00003	0,00004	0,00002	0,00003	0,00004	0,00005	0,00003	0,00006	0,00004	0,00004	0,00004	0,00007	0,00012	0,00003	0,00006	0,00008	0,00005	0,00005
dez/00	erro treinamento	0,00016	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00043	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00005	0,00004	0,00003	0,00006	0,00005	0,00008	0,00007	0,00006	0,00006	0,00018
jan/01	erro treinamento	0,00008	0,00007	0,00005	0,00004	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00009	0,00011	0,00010	0,00011	0,00011	0,00012	0,00012	0,00013	0,00012	0,00014	0,00016	0,00012	0,00009	0,00015	0,00020	0,00013	0,00024	0,00022	0,00018	0,00016	0,00016
	menor média de erros treinamento																					
	menor média de erros teste																					
	PSU16 - MELHOR NRO DE NEURÓNIOS = 4																					

MODELO 4 - PSU67																						
		NÚMERO DE NEURÓNIOS																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
jan/00	erro treinamento	0,00024	0,00021	0,00018	0,00014	0,00012	0,00011	0,00010	0,00009	0,00008	0,00008	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004
	erro teste	0,00034	0,00035	0,00030	0,00025	0,00024	0,00045	0,00040	0,00044	0,00026	0,00060	0,00034	0,000610	0,00053	0,00184	0,00051	0,00061	0,00080	0,00173	0,00204	0,00071	
fev/00	erro treinamento	0,00015	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00006	0,00004	0,00005	0,00002	0,00005	0,00002	0,00004	0,00004	0,00003	
mar/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	
	erro teste	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00006	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00004	0,00004	0,00001	0,00004	0,00005	0,00005	0,00004	
abr/00	erro treinamento	0,00001	0,00014	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00002	0,00023	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00003	0,00001	0,00004	0,00001	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00004	0,00003	0,00001	
mai/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00002	0,00002	0,00004	0,00002	0,00003	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00004	0,00005	0,00005	0,00001	0,00003	0,00003	0,00015	0,00002	0,00008	0,00003	0,00013	
jun/00	erro treinamento	0,00016	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00004	0,00005	0,00005	0,00005	0,00013	0,00021	0,00012	0,00008	0,00010	0,00006	0,00012	0,00015	0,00005	0,00030	0,00011	0,00019	0,00006	0,00005	0,00012	0,00007	
jul/00	erro treinamento	0,00017	0,00007	0,00005	0,00005	0,00004	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00023	0,00017	0,00033	0,00364	0,00754	0,00037	0,00032	0,00055	0,00029	0,00031	0,00032	0,00050	0,00052	0,00220	0,00103	0,00331	0,00151	0,00049	0,00098	0,00037	
ago/00	erro treinamento	0,00003	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00004	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00008	0,00005	0,00007	0,00007	0,00004	0,00004	0,00007	0,00004	0,00004	0,00004	0,00010	0,00007	0,00006	0,00014	0,00004	
set/00	erro treinamento	0,00014	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00008	0,00004	0,00004	0,00005	0,00008	0,00011	0,00005	0,00011	0,00008	0,00008	0,00007	0,00011	0,00006	0,00053	0,00012	0,00009	0,00013	0,00006	0,00008	0,00013	
out/00	erro treinamento	0,00009	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00019	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00007	0,00006	0,00004	0,00006	0,00004	0,00007	0,00003	0,00010	0,00005	0,00008	0,00011	
nov/00	erro treinamento	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00003	0,00003	0,00002	0,00005	0,00005	0,00005	0,00007	0,00003	0,00002	0,00006	0,00004	0,00006	0,00009	0,00006	0,00004	0,00011	0,00006	0,00008	0,00004	0,00003	
dez/00	erro treinamento	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00001	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00003	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
jan/01	erro treinamento	0,00008	0,00007	0,00005	0,00004	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
	erro teste	0,00009	0,00009	0,00012	0,00010	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011	0,00010	0,00011	0,00014	0,00012	0,00013	0,00022	0,00012	0,00016	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	
		PSU67 - MELHOR NRO DE NEURÓNIOS = 1,2 e 4																				

MODELO 4 - PSH51																					
		NÚMERO DE NEURÔNIOS																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
jan/00	erro treinamento	0,0037	0,0022	0,0018	0,0015	0,0013	0,0011	0,0010	0,0009	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
	erro teste	0,0034	0,0023	0,0042	0,0033	0,0035	0,0032	0,0033	0,0025	0,0024	0,0046	0,0128	0,0041	0,0058	0,0106	0,0088	0,0077	0,00285	0,0106	0,00250	0,00089
fev/00	erro treinamento	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
	erro teste	0,0001	0,0002	0,0007	0,0003	0,0002	0,0001	0,0003	0,0005	0,0007	0,0001	0,0002	0,0004	0,0001	0,0001	0,0003	0,0007	0,0004	0,0008	0,0002	0,0003
mar/00	erro treinamento	0,0009	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
	erro teste	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0005	0,0001	0,0005	0,0002	0,0004	0,0007	0,0003	0,0004
abr/00	erro treinamento	0,0009	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0004	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0003	0,0010	0,0002	0,0001	0,0002	0,0004
mai/00	erro treinamento	0,0001	0,0014	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0002	0,0073	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0007	0,0008	0,0002	0,0003	0,0029	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005
jun/00	erro treinamento	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0005	0,0005	0,0005	0,0007	0,0011	0,0014	0,0014	0,0016	0,0006	0,0083	0,0036	0,0006	0,0009	0,0006	0,0016	0,0006	0,0017	0,0005	0,00020	0,00008
jul/00	erro treinamento	0,0010	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
	erro teste	0,0013	0,0322	0,0014	0,00029	0,00027	0,00032	0,00014	0,0473	0,0138	0,0127	0,0041	0,0036	0,00318	0,0112	0,0115	0,0072	0,0081	0,0033	0,00195	0,00044
ago/00	erro treinamento	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0004	0,0004	0,0011	0,0003	0,0003	0,0004	0,00010	0,0006	0,0004	0,0005	0,00010	0,0004	0,00006	0,00011
set/00	erro treinamento	0,0019	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0009	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,00034	0,0005	0,0009	0,0005	0,0008	0,0007	0,0008	0,0010	0,0013	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,00007
out/00	erro treinamento	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0002	0,0003	0,0003	0,00040	0,0002	0,0003	0,0029	0,0003	0,0006	0,0003	0,0004
nov/00	erro treinamento	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0005	0,0003	0,0002	0,0004	0,0003	0,0006	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,00006
dez/00	erro treinamento	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
jan/01	erro treinamento	0,0008	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	erro teste	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0010	0,0012	0,0014	0,0013	0,0014	0,0015	0,0015	0,0013	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		PSH51 - MELHOR NRO DE NEURORIOS = 1																			
		</																			

MODELO 6 - PSF32																					
NÚMERO DE NEURÓNIOS																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
jan00-fev	erro treinamento	0,00388	0,00208	0,00145	0,00104	0,00079	0,00065	0,00053	0,00047	0,00042	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00028	0,00026	0,00025	0,00023	0,00022	0,00020	0,00019
	erro teste	0,00558	0,01941	0,30099	0,68857	2,30950	0,00739	0,03494	0,05517	0,40812	0,04245	0,03444	0,04755	0,12554	0,05936	0,02778	0,06929	0,09622	0,02310	0,45483	0,01392
fev-mar	erro treinamento	0,00922	0,00561	0,00346	0,00254	0,00184	0,00160	0,00139	0,00119	0,00113	0,00102	0,00089	0,00083	0,00076	0,00072	0,00065	0,00058	0,00055	0,00050	0,00049	0,00044
	erro teste	0,10227	0,04458	0,40033	0,01194	0,01992	0,03695	0,15581	0,15543	0,03725	0,03760	0,02080	0,09187	0,05492	0,06599	0,09803	0,20960	0,07570	0,11166	0,09260	0,05228
mar-abr	erro treinamento	0,00218	0,00176	0,00123	0,00091	0,00078	0,00063	0,00058	0,00047	0,00043	0,00040	0,00033	0,00030	0,00027	0,00024	0,00021	0,00021	0,00018	0,00017	0,00016	0,00015
	erro teste	32,95700	0,01996	8,83990	0,02449	0,02831	0,02604	1,48200	0,20235	0,13917	0,04608	0,24730	0,01437	0,08316	0,01293	0,05337	0,01491	0,02781	0,08469	0,03492	0,04605
abr-mai	erro treinamento	0,00534	0,00248	0,00184	0,00135	0,00088	0,00070	0,00055	0,00046	0,00040	0,00036	0,00031	0,00027	0,00026	0,00024	0,00021	0,00019	0,00019	0,00016	0,00016	0,00014
	erro teste	0,11107	0,01149	0,00809	0,18223	0,02912	0,40487	0,05929	0,00527	0,00498	0,12101	0,03322	0,03388	0,13075	0,02169	0,09046	0,02168	0,00970	0,01590	0,33818	0,05697
mai-jun	erro treinamento	0,00549	0,00201	0,00087	0,00055	0,00036	0,00027	0,00022	0,00017	0,00017	0,00014	0,00013	0,00012	0,00010	0,00009	0,00009	0,00008	0,00007	0,00007	0,00006	0,00005
	erro teste	0,00875	0,00360	0,59393	1,16810	0,00991	0,16605	0,26622	0,00507	0,01113	0,03561	0,01706	0,03756	0,03559	0,03674	0,03489	0,01684	0,02495	0,01932	0,00861	0,02619
jun-jul	erro treinamento	0,00377	0,00205	0,00128	0,00075	0,00057	0,00027	0,00019	0,00014	0,00007	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00002	0,00002	0,00003	0,00002	0,00001	0,00001
	erro teste	0,00698	0,00770	1,04090	0,00753	0,03099	0,93936	0,07101	0,03368	0,03028	0,10467	0,02756	0,06290	0,16593	0,03006	0,12214	0,04708	0,22976	0,11694	0,09042	0,07197
jul-ago	erro treinamento	0,00126	0,00087	0,00071	0,00055	0,00042	0,00030	0,00024	0,00017	0,00019	0,00013	0,00011	0,00010	0,00009	0,00007	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004
	erro teste	0,00342	0,00287	12,58800	0,15257	2,86680	0,7392	0,04483	0,28390	0,05365	0,48261	0,02298	0,04727	0,09401	0,06411	0,05464	0,16294	0,12048	0,10748	0,21727	0,03072
ago-set	erro treinamento	0,00384	0,00270	0,00217	0,00179	0,00152	0,00125	0,00100	0,00080	0,00070	0,00059	0,00054	0,00047	0,00041	0,00038	0,00035	0,00032	0,00030	0,00027	0,00025	0,00024
	erro teste	0,00888	0,00519	0,21128	0,16979	0,01750	0,06982	0,01848	0,12651	0,03967	0,03496	0,03620	0,06228	0,02989	0,03937	0,02530	0,05990	0,02305	0,05731	0,02046	0,03670
set-out	erro treinamento	0,00572	0,00431	0,00312	0,00240	0,00195	0,00157	0,00128	0,00103	0,00090	0,00077	0,00066	0,00061	0,00056	0,00051	0,00044	0,00042	0,00040	0,00037	0,00034	0,00031
	erro teste	0,01121	0,01765	0,06221	0,01132	0,61862	0,01327	0,49701	2,60370	0,22641	0,83871	0,15758	0,06112	0,02740	0,20368	0,03320	0,45744	0,22238	0,18357	0,01840	0,03721
out-nov	erro treinamento	0,00577	0,00453	0,00388	0,00312	0,00257	0,00210	0,00180	0,00152	0,00123	0,00105	0,00091	0,00076	0,00070	0,00064	0,00050	0,00042	0,00038	0,00032	0,00026	0,00023
	erro teste	0,00787	0,00921	0,01052	0,01135	0,14850	0,00990	0,01124	0,10669	0,03097	0,03818	0,03208	0,06880	0,14981	0,03760	0,05415	0,04247	0,13077	0,03660	0,06819	0,09150
nov-dez	erro treinamento	0,00167	0,00136	0,00106	0,00081	0,00055	0,00042	0,00032	0,00022	0,00019	0,00016	0,00013	0,00010	0,00008	0,00008	0,00007	0,00006	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004
	erro teste	0,00372	0,00409	0,03396	0,02639	0,08530	0,44923	0,06920	0,06107	0,24661	0,23939	0,05527	0,04905	0,22816	0,31900	1,38674	0,59534	0,43473	0,18911	0,31892	0,21366
dez-jan01	erro treinamento	0,00223	0,00190	0,00131	0,00096	0,00072	0,00051	0,00044	0,00036	0,00028	0,00026	0,00024	0,00025	0,00021	0,00017	0,00014	0,00016	0,00014	0,00015	0,00018	0,00013
	erro teste	0,00271	0,77330	0,00373	0,00471	15,67400	0,02029	0,05672	0,92994	5,45210	0,22875	0,03227	0,06122	0,01734	0,13198	0,00173	0,02432	0,37798	0,01256	0,01097	0,05194
		MENOR MÉDIA DE ERROS TREINAMENTO																			
		MENOR MÉDIA DE ERROS TESTE																			
		PSF32 - MELHOR NRO DE NEURÓNIOS = 1																			

ANEXO

ANEXO 1 – LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS.....	159
ANEXO 2 – LEITURAS DOS INSTRUMENTOS.....	161

ANEXO 1 – LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Instrumento	Coordenadas (m)			Instrumento	Coordenadas (m)		
	X	Y	Z		X	Y	Z
PSF004	162,03	400,32	62,78	PSF122	638,18	329,37	63,23
PSF006	218,6	469,07	73,75	PSF123	638,18	329,37	53,33
PSF007	219,18	466,23	59,17	PSF124	629,89	287,16	107,1
PSF008	213,54	441,1	89,88	PSF126	629,89	287,16	54,1
PSF009	205,05	443,44	94,6	PSF131	706,98	328,15	114,97
PSF010	208,14	437,12	73,48	PSF132	703,77	316,56	105,13
PSF011	208,14	437,12	60,48	PSF133	704,91	321,65	75,61
PSF015	224,61	378,08	60,8	PSF134	698,54	293,28	106,44
PSF016	224,6136	378,085	22,5	PSF135	698,54	293,28	75,11
PSF018	217,58	341,23	64,04	PSF136	698,54	293,28	55,14
PSF021	322,08	440,21	49,45	PSF139	685,85	236,69	56,93
PSF022	304,86	441,14	59,79	PSU001	96,86	286,99	17,66
PSF024	307,4636	423,0392	18,1	PSU002	96,42	285,01	26,81
PSF025	290,96	363,2	61,33	PSU003	95,39	280,32	54
PSF026	290,9644	363,1996	21,13	PSU004	88,23	247,74	19,32
PSF031	348,85	464,54	33,22	PSU005	87,89	246,18	28,38
PSF032	345,821	469,5302	19,16	PSU006	86,8	241,24	57,04
PSF033	345	447,39	39,62	PSU007	105,24	325,09	26,1
PSF034	353,26	442,64	36,69	PSU008	105,24	325,09	68
PSF035	338,7434	443,6929	19,38	PSU009	164,11	264,54	16,87
PSF036	339,7634	411,6935	19,14	PSU010	164,11	264,54	25,93
PSF037	315,0087	292,2146	22,53	PSU011	164,11	264,54	55,58
PSF051	379,95	447,84	30,61	PSU012	155,52	225,47	17,65
PSF052	386,48	435,36	40,69	PSU013	155,52	225,47	27,6
PSF053	377,95	417,47	24,6	PSU014	155,52	225,47	56,75
PSF061	411,41	431,47	39,34	PSU015	154,98	223,03	56,63
PSF062	420,54	431,86	37,28	PSU016	168,67	308,58	64,1
PSF063	412,8816	417,8367	26,75	PSU018	229,69	257,8	16,38
PSF064	412,8816	417,8367	17,25	PSU019	229,32	256,12	25,24
PSF065	381,1406	276,3534	31,49	PSU020	228,23	251,17	54
PSF066	381,1406	276,3534	21,49	PSU021	221,13	218,883	17,35
PSF071	448,3	439,13	33,23	PSU022	220,79	217,31	26,51
PSF072	448,6347	446,0956	16,62	PSU023	219,65	212,13	56,55
PSF073	453,98	439,13	43,9	PSU024	238,67	298,63	62,94
PSF074	444,12	420,49	40,18	PSU026	297,58	191,68	17,1
PSF075	444,165	416,6704	17,41	PSU027	297,58	191,68	25,5
PSF076	441,2411	388,9276	15,66	PSU028	297,58	191,68	36,35
PSF077	436,863	369,4126	19,25	PSU029	304,94	225,16	25,13
PSF101	511,69	380,3	57,6	PSU030	304,36	222,54	40,3
PSF102	511,6904	380,2966	18,6	PSU031	294,28	205,71	25,24
PSF103	491,7535	318,1537	60,13	PSU032	296,37	205,25	37,35
PSF104	491,7535	318,1537	19,23	PSU033	318,58	187,06	16,3
PSF111	574,97	387,97	75,07	PSU034	318,58	187,06	25,6
PSF112	575,88	387,89	57,61	PSU035	318,58	187,06	34,48
PSF113	578,51	359,41	90,04	PSU036	351,78	179,76	15,7
PSF114	579,19	362,43	93,23	PSU037	351,78	179,76	25,8
PSF115	572,95	344,01	75,18	PSU038	351,78	179,76	36,3
PSF116	572,95	344,01	56,18	PSU042	386,02	172,24	16,3
PSF117	558,95	303,08	69,03	PSU043	386,02	172,24	25
PSF118	558,95	303,08	56,53	PSU044	386,02	172,24	45,5
PSF119	549,76	262,1	70,67	PSU045	463,61	206,38	12,34
PSF120	549,76	262,1	57,67	PSU046	463,18	204,43	24
PSF121	638,18	329,37	106,63	PSU047	462,04	199,25	54,1

PSU048	455,2	168,16	12,92	PSH024	755,18	294,55	53,5
PSU049	454,82	166,46	22,77	PSH025	755,18	294,55	6,55
PSU050	453,55	160,65	56,55	PSH026	746,44	261,77	63,08
PSU051	468,51	242,67	59,67	PSH027	746,44	261,77	55,65
PSU054	470,51	244,79	75,3	PSH028	746,08	260,15	63,15
PSU055	529,68	192,58	11,46	PSH029	746,08	260,15	54,94
PSU056	529,29	190,8	21,8	PSH030	747,66	260,36	55,38
PSU057	528,07	185,25	54	PSH031	747,66	260,36	5,6
PSU058	521,09	153,5	14,16	PSH032	733,08	201,01	65,21
PSU059	520,69	151,66	24,79	PSH033	733,08	201,01	55,73
PSU060	519,27	145,21	56,6	PSH034	732,66	199,11	56,25
PSU061	518,3	138,46	56,75	PSH035	732,66	199,11	9,2
PSU062	533,07	229,48	58,27	PSH036	785,9	287,8	63,66
PSU063	533,07	229,48	75,2	PSH037	785,9	287,8	54,5
PSU064	593,66	178,51	11,45	PSH038	767,21	257,2	62,37
PSU065	593,3	176,88	20,91	PSH039	767,21	257,2	56,01
PSU066	592,03	171,13	54,29	PSH040	766,86	255,58	62,8
PSU067	583,26	140,09	12,68	PSH041	766,86	255,58	53,02
PSU068	582,92	138,51	21,84	PSH042	765,26	193,94	64,48
PSU069	581,58	132,45	57	PSH043	765,26	193,94	57,81
PSU070	604,11	219,08	58,65	PSH044	805,72	283,44	64,85
PSU072	725,21	148,87	10,54	PSH045	805,72	283,44	55,95
PSU073	724,94	147,65	18,32	PSH046	805,72	283,44	5,9
PSU074	723,51	141,16	56,04	PSH047	800,85	249,81	7,25
PSU075	719,82	124,37	10,53	PSH048	784,97	189,02	57,75
PSU076	719,53	123,05	18,21	PSH049	784,97	189,02	8,75
PSU077	718	116,06	58,79	PSH051	829,14	278,29	53,65
PSU078	811,77	163,97	67,24	PSH052	818,6	244,21	62,44
PSU079	792,01	134,18	9,7	PSH053	818,6	244,21	55,09
PSU080	788,77	119,42	58,5	PSH054	821,87	245,19	62,76
PSU081	790,33	126,52	56,04	PSH055	821,87	245,19	53,74
PSU082	786,65	109,79	10,04	PSH056	804,31	185,35	63,61
PSU083	786,35	108,43	17,92	PSH057	804,31	185,35	55,65
PSU084	784,84	101,57	57,8	PSH058	859,78	271,55	51,25
PSU085	783,33	96,54	58,57	PSH059	859,78	271,55	6,25
PSU086	827,17	126,45	9,75	PSH060	861,58	271,16	64,22
PSU087	826,94	125,4	17,73	PSH061	861,58	271,16	54,85
PSU088	825,49	118,79	56,04	PSH062	853,47	237,11	54,85
PSU089	820,71	97,06	10,63	PSH063	853,47	237,11	7,35
PSU090	820,47	95,95	17,08	PSH065	854,3	238,06	52,76
PSU091	818,89	99,76	58,79	PSH067	854,09	236,4	55,66
PST004	641,64	430,86	80,21	PSH068	837,95	177,96	63,35
PSH010	730,13	291,64	66,79	PSH069	837,95	177,96	55,47
PSH011	724,55	266,25	66,67	PSH070	837,53	176,05	55,35
PSH012	717,06	236,15	66,45	PSH071	837,53	176,05	8,9
PSH013	711,9	209,84	66,69	PSH072	880,21	258,44	66,36
PSH014	729,16	287,76	104	PSH073	874,35	233,62	66,56
PSH015	729,5	287,68	96,72	PSH074	868,39	202,88	66,23
PSH022	753,71	294,87	64,56	PSH075	866,89	199,93	66,47
PSH023	753,71	294,87	54,76	PSH077	877,62	255,12	104,64

ANEXO 2 – LEITURAS DOS INSTRUMENTOS

	jan/99	fev/99	mar/99	abr/99	mai/99	jun/99	jul/99	ago/99	set/99	out/99	nov/99	dez/99
PSF004	75,77	75,82	75,83	75,89	75,81	75,76	75,76	75,70	75,69	75,71	75,87	75,83
PSF006	119,78	119,53	119,53	119,53	119,53	119,38	119,35	119,28	119,28	119,28	119,48	119,11
PSF007	127,78	127,63	127,38	127,18	127,13	126,63	127,05	127,58	128,23	128,75	128,78	127,58
PSF008	155,86	153,98	152,86	152,43	152,40	155,63	166,11	178,50	183,98	189,23	183,48	163,36
PSF009	103,23	102,50	102,14	101,93	102,18	103,03	105,30	110,54	111,80	111,08	108,68	104,30
PSF010	87,42	87,40	87,35	87,39	87,38	87,29	87,30	87,27	87,38	87,54	87,66	87,43
PSF011	82,71	82,73	82,73	82,77	82,71	82,66	82,71	82,73	82,80	83,35	83,24	83,07
PSF015	63,34	63,50	63,28	63,29	63,23	63,19	63,26	63,29	63,33	63,35	63,59	63,52
PSF016	25,79	25,82	25,81	25,73	25,76	25,53	25,65	25,56	25,47	25,50	25,48	25,45
PSF018	66,12	66,18	66,07	65,95	66,03	65,92	66,12	66,27	65,91	65,93	66,22	66,13
PSF021	114,43	113,76	112,13	111,88	111,83	113,43	117,43	124,29	127,06	133,06	125,65	111,63
PSF022	102,68	101,83	101,29	100,91	101,03	102,38	106,06	114,69	118,56	121,83	116,57	109,13
PSF024	18,63	18,62	18,62	18,63	18,63	18,57	18,58	18,55	18,55	18,55	18,68	18,67
PSF025	61,42	61,38	61,40	61,35	61,34	61,04	61,13	61,09	61,11	61,10	61,22	61,20
PSF026	23,37	23,42	23,39	23,40	23,38	23,26	23,36	23,37	23,37	23,37	23,48	23,47
PSF031	126,21	126,61	126,71	126,71	126,96	125,46	125,04	124,71	125,21	126,71	126,96	126,71
PSF032	112,70	113,50	113,20	113,20	112,35	111,95	112,37	111,03	110,85	110,63	107,70	103,97
PSF033	154,71	153,59	151,21	149,71	150,51	154,71	163,59	177,71	182,46	187,21	179,31	167,84
PSF034	84,38	83,58	82,80	82,88	82,70	83,58	88,25	95,20	98,38	100,25	95,74	107,50
PSF035	40,76	40,99	41,28	40,97	40,66	40,60	40,19	39,94	40,15	39,88	40,01	39,92
PSF036	18,31	18,32	18,30	18,31	18,30	18,29	18,29	18,27	18,27	18,28	18,49	18,47
PSF037	22,98	22,98	22,95	22,95	22,93	22,91	22,90	22,89	22,88	22,89	23,14	23,07
PSF051	57,75	57,87	57,93	58,01	59,67	65,69	65,06	57,04	56,91	74,91	76,63	73,56
PSF052	68,43	67,60	66,96	66,23	66,16	65,48	65,30	65,90	67,38	68,65	70,80	71,83
PSF053	27,60	27,63	27,56	27,65	27,64	27,70	27,74	27,91	27,82	27,91	27,96	27,72
PSF061	88,18	86,85	86,73	86,73	86,65	87,13	90,93	97,75	100,45	103,73	102,27	97,50
PSF062	169,63	166,51	164,04	163,68	163,38	167,88	179,51	186,58	188,26	189,18	186,68	180,08
PSF063	26,65	26,61	26,64	26,64	26,64	26,63	26,73	27,30	27,57	27,92	27,67	27,21
PSF064	29,40	29,51	29,55	29,41	29,03	29,33	29,32	29,21	29,16	28,85	28,68	28,27
PSF065	30,90	30,81	30,86	30,87	30,87	30,83	30,83	30,83	30,83	30,84	30,96	30,95
PSF066	21,63	21,75	21,76	21,69	21,66	21,68	21,78	21,65	21,59	21,63	21,79	21,73
PSF071	147,82	148,07	147,32	147,12	147,07	147,07	147,07	147,07	147,32	147,57	147,32	145,74
PSF072	89,96	90,56	90,86	90,71	90,21	89,96	89,46	89,64	89,71	89,21	89,71	89,48
PSF073	122,20	122,78	120,90	120,85	121,39	123,28	131,70	152,15	156,45	164,03	161,37	142,95
PSF074	81,07	81,00	80,73	80,90	80,91	81,45	83,15	86,87	89,25	90,57	89,37	102,75
PSF075	36,19	36,35	36,40	36,32	36,04	35,88	35,72	35,50	35,45	35,40	35,50	35,31
PSF076	18,74	18,76	18,73	18,72	18,70	18,72	18,70	18,70	18,71	18,69	18,95	18,90
PSF077	19,05	19,07	19,04	19,04	19,04	19,01	18,99	19,00	19,02	19,00	19,24	19,21
PSF101	65,57	65,51	65,46	65,37	65,31	65,24	65,22	65,26	65,33	65,41	65,64	65,63
PSF102	22,37	22,40	22,38	22,37	22,32	22,26	22,20	22,09	22,09	22,09	22,26	22,19
PSF103	66,92	67,00	67,00	67,11	67,21	67,21	67,27	67,26	67,24	67,17	67,19	67,09
PSF104	22,72	22,76	22,74	22,72	22,66	22,54	22,46	22,38	22,38	22,37	22,46	22,44
PSF111	123,82	123,72	123,47	123,42	123,32	123,17	122,99	123,25	123,32	124,25	123,52	122,82
PSF112	122,52	122,12	121,87	121,77	121,87	121,67	121,60	121,47	121,87	121,80	121,72	121,17
PSF113	157,37	151,95	149,53	148,60	149,47	160,77	179,37	185,57	184,62	183,37	178,69	166,50
PSF114	179,66	168,28	166,28	165,66	167,20	194,41	207,78	207,28	205,03	204,78	204,08	202,91
PSF115	87,90	87,79	87,70	87,67	87,62	87,63	87,96	88,16	88,34	88,31	88,32	87,97
PSF116	57,72	57,70	57,62	57,68	57,63	57,62	57,57	57,51	57,56	57,57	57,68	57,63
PSF117	67,71	67,70	67,69	67,70	67,70	67,67	67,66	67,64	67,64	67,64	67,89	67,86
PSF118	61,41	61,44	61,42	61,49	61,48	61,42	61,35	61,27	61,25	61,32	61,45	61,43
PSF119	70,21	70,21	70,21	70,19	70,19	70,13	70,16	70,16	70,16	70,24	70,50	70,47
PSF120	60,20	60,27	60,24	60,28	60,26	60,24	60,23	60,24	60,21	60,24	60,37	60,35
PSF121	120,48	120,33	120,23	120,18	120,33	120,53	121,20	122,03	123,23	123,46	123,08	121,90
PSF122	113,32	113,14	112,93	112,95	112,88	112,75	112,53	112,34	112,30	112,39	112,46	111,92
PSF123	84,08	83,94	83,78	83,81	83,78	83,62	83,46	83,37	83,38	83,39	83,60	83,32

PSF124	105,77	105,79	105,78	105,88	105,79	105,68	105,74	105,81	105,83	105,77	105,86	105,77
PSF126	63,77	63,79	63,76	63,78	63,76	63,65	63,65	63,61	63,63	63,66	63,80	63,74
PSF131	125,72	125,70	125,74	125,69	125,34	125,37	125,52	125,60	125,62	125,70	125,96	125,37
PSF132	123,68	123,68	123,33	123,58	123,33	123,58	123,75	123,55	123,58	123,78	124,08	123,78
PSF133	81,69	81,65	81,59	81,61	81,58	81,57	81,59	81,62	81,76	81,76	81,91	81,78
PSF134	109,62	109,58	109,53	109,50	109,41	109,39	109,45	109,48	109,53	109,55	109,66	109,63
PSF135	78,82	78,84	78,98	79,23	79,18	79,44	80,84	81,13	81,27	81,38	81,54	81,57
PSF136	64,95	64,92	64,96	64,99	65,02	64,81	64,81	64,76	64,80	64,77	64,96	64,91
PSF139	70,15	70,02	69,78	69,60	69,42	69,29	69,39	69,33	69,31	69,32	69,44	69,43
PSU001	46,01	45,90	45,90	45,66	45,17	45,33	47,95	44,99	44,67	44,28	44,58	44,58
PSU002	42,70	43,10	42,96	42,57	42,26	42,57	44,88	42,18	42,46	41,92	42,12	42,22
PSU003	54,31	54,30	54,31	54,31	54,30	54,29	54,33	54,29	54,24	54,23	54,28	54,25
PSU004	48,47	48,88	48,22	48,01	47,51	48,51	49,63	47,47	48,27	47,13	47,35	47,20
PSU005	45,29	45,69	45,09	44,90	44,68	45,05	46,89	44,33	44,47	43,83	44,00	43,85
PSU006	58,62	58,59	58,22	58,27	58,34	58,22	58,30	58,27	58,20	58,29	58,30	58,42
PSU007	43,63	44,04	43,92	43,70	43,13	43,51	45,76	43,11	43,28	42,86	43,08	43,01
PSU008	70,95	70,92	70,98	70,96	70,87	70,87	70,93	70,81	70,90	70,89	71,00	70,97
PSU009	43,52	44,69	44,29	43,91	43,69	44,03	45,67	44,01	43,70	43,43	43,37	43,26
PSU010	42,40	42,80	42,64	42,26	41,95	42,26	44,48	41,87	42,06	41,61	41,80	41,91
PSU011	56,83	57,10	56,93	56,80	56,88	56,85	56,97	57,13	57,15	57,24	57,19	57,04
PSU012	43,91	44,34	44,15	43,74	43,35	43,72	45,88	43,25	43,29	42,87	43,06	43,06
PSU013	43,19	43,58	43,47	43,04	42,68	43,03	45,29	42,63	42,81	42,37	42,61	42,70
PSU014	57,72	57,75	57,70	57,65	57,62	57,73	57,81	57,76	57,62	57,60	57,63	57,61
PSU015	69,48	69,58	69,33	68,66	68,53	69,16	69,71	69,23	68,71	68,33	68,15	68,16
PSU016	67,91	68,27	67,86	67,73	67,93	67,63	68,19	67,67	67,43	67,38	67,68	67,51
PSU018	36,14	36,93	36,71	36,34	36,12	36,37	37,65	36,24	36,20	35,98	36,08	36,02
PSU019	38,94	39,23	39,15	38,78	38,53	38,72	40,57	38,41	38,59	38,25	38,45	38,52
PSU020	57,45	57,47	57,42	57,42	57,43	57,51	57,53	57,57	57,58	57,54	57,43	57,39
PSU021	42,39	43,27	42,92	42,53	42,09	43,01	44,05	41,99	41,53	41,09	41,24	41,20
PSU022	41,29	41,62	41,56	41,33	40,78	41,10	43,08	40,41	40,97	40,52	40,79	40,81
PSU023	57,39	57,39	57,39	57,43	57,41	57,42	57,39	57,40	57,40	57,40	57,42	57,41
PSU024	72,81	72,83	72,89	72,69	72,57	72,39	72,68	72,79	72,99	72,68	72,73	72,51
PSU026	52,35	52,85	52,59	52,07	51,58	51,98	52,61	51,85	51,82	51,53	51,58	51,47
PSU027	47,53	47,78	47,76	47,27	46,88	47,30	47,90	47,30	47,31	46,99	47,11	46,96
PSU028	53,59	53,63	53,61	53,38	53,32	53,62	53,72	53,29	53,11	52,98	53,23	53,20
PSU029	25,82	25,75	25,87	25,87	25,68	25,68	25,83	25,67	25,66	25,65	25,81	25,75
PSU030	48,73	48,69	48,73	48,73	48,67	48,62	48,68	48,60	48,57	48,47	48,49	48,42
PSU031	32,76	32,77	32,96	32,79	32,38	32,47	32,83	32,34	32,35	32,22	32,46	32,47
PSU032	51,76	51,88	51,77	51,57	51,51	51,71	51,79	51,33	50,89	50,79	50,95	51,16
PSU033	49,70	50,06	49,96	49,68	49,13	49,49	50,05	49,17	49,28	48,95	49,15	49,02
PSU034	60,31	60,29	60,29	60,28	60,26	60,25	60,23	60,21	60,19	60,16	60,16	60,12
PSU035	55,34	55,57	55,53	54,80	54,99	55,37	55,95	55,65	55,69	55,52	55,54	55,30
PSU036	52,62	52,91	52,73	52,21	51,95	52,54	53,18	52,14	51,90	51,52	51,72	51,73
PSU037	40,58	40,80	40,90	40,73	40,34	40,48	40,77	40,12	40,16	39,97	40,10	40,02
PSU038	54,85	55,17	55,00	54,53	54,68	54,90	54,78	54,11	54,01	53,88	53,75	54,02
PSU042	55,29	56,47	56,16	55,59	55,19	55,12	56,02	54,99	54,86	54,72	54,70	54,74
PSU043	48,30	48,74	48,59	48,15	47,58	47,87	48,48	47,41	47,53	47,18	47,33	47,34
PSU044	61,78	61,78	61,78	61,78	61,76	61,77	61,79	61,77	61,73	61,70	61,67	61,68
PSU045	27,21	27,21	27,36	27,16	26,98	27,05	27,37	27,06	27,15	27,06	27,30	27,27
PSU046	23,50	23,46	23,63	23,51	23,41	23,42	23,62	23,43	23,44	23,38	23,52	23,44
PSU047	56,64	56,61	56,55	56,51	56,48	56,45	56,45	56,52	56,64	56,86	56,81	56,93
PSU048	27,19	27,17	27,34	27,33	26,99	27,07	27,36	27,04	27,13	27,04	27,26	27,19
PSU049	27,02	27,01	27,14	26,99	26,82	26,90	27,17	26,92	26,89	26,76	26,98	26,96
PSU050	57,29	57,28	57,28	57,33	57,28	57,30	57,27	57,30	57,27	57,25	57,28	57,29
PSU051	59,89	59,77	60,00	60,10	60,72	60,76	60,17	60,63	60,36	59,81	60,14	60,18
PSU054	75,97	75,98	75,98	75,99	75,98	75,96	75,98	75,93	75,93	75,95	75,96	75,96
PSU055	27,70	27,65	27,84	27,66	27,51	27,59	27,86	27,60	27,54	27,44	27,62	27,63
PSU056	30,97	31,14	31,47	31,26	31,03	30,99	31,48	31,16	31,12	30,73	31,11	31,05
PSU057	58,05	58,05	58,04	58,00	58,03	58,04	58,03	58,05	58,03	58,02	58,02	58,01

PSU058	28,97	29,13	29,27	28,95	28,62	28,59	28,99	28,65	28,66	29,12	29,30	29,46
PSU059	32,42	32,55	32,76	32,51	32,21	32,35	33,00	32,37	32,18	31,85	32,38	32,22
PSU060	56,29	56,29	56,28	56,27	56,29	56,28	56,31	56,27	56,25	56,19	56,22	56,21
PSU061	85,90	86,02	85,15	84,05	83,97	86,30	88,15	86,31	86,12	85,60	85,09	84,95
PSU062	58,21	58,15	58,36	58,37	58,12	58,14	58,33	58,12	58,17	58,12	58,35	58,30
PSU063	76,02	76,04	76,00	76,04	76,07	76,03	76,01	76,01	76,03	76,02	76,02	76,02
PSU064	28,06	28,07	28,28	28,10	27,95	28,00	28,35	28,06	28,08	28,11	28,23	28,19
PSU065	35,97	35,89	36,13	35,98	35,84	35,76	35,99	35,80	35,79	35,66	35,83	35,77
PSU066	58,09	58,09	58,08	58,08	58,07	58,09	58,09	58,09	58,07	58,08	58,07	58,08
PSU067	35,43	35,61	36,22	35,74	35,63	35,92	36,53	35,05	35,09	31,91	32,92	33,13
PSU068	44,91	44,87	45,01	44,91	44,85	44,80	44,92	44,79	44,75	44,68	44,79	44,69
PSU069	57,25	57,38	57,32	57,19	57,12	57,28	57,22	57,11	56,93	56,71	56,65	56,67
PSU070	57,61	58,13	58,17	58,26	58,17	58,05	58,19	58,09	58,03	58,02	58,17	58,22
PSU072	45,18	45,20	45,32	45,14	45,18	45,36	45,54	45,84	45,85	45,73	45,65	45,53
PSU073	47,47	47,61	47,64	47,58	47,59	47,68	47,95	47,98	47,98	47,87	47,84	47,73
PSU074	58,87	58,90	58,85	58,84	58,82	58,86	58,85	58,84	58,84	58,82	58,82	58,82
PSU075	55,22	55,52	55,29	55,40	55,69	55,67	56,03	55,87	55,78	55,69	55,60	55,70
PSU076	58,26	58,35	58,34	58,34	58,58	58,32	58,46	58,38	58,37	58,32	58,30	58,33
PSU077	58,86	58,88	58,83	58,83	58,82	58,84	58,85	58,83	58,82	58,79	58,81	58,82
PSU078	72,37	72,91	72,81	72,29	72,23	71,77	72,38	71,54	71,45	71,35	71,41	71,75
PSU079	51,85	51,87	52,17	51,97	51,97	52,03	52,12	52,50	52,38	52,30	52,25	52,30
PSU080	56,98	57,11	57,38	57,22	57,05	56,93	57,04	57,01	56,97	56,91	56,88	56,87
PSU081	58,71	58,72	58,64	58,63	58,61	58,63	58,69	58,64	58,64	58,61	58,61	58,60
PSU082	54,65	54,72	55,14	55,11	54,87	54,90	54,79	54,91	54,88	54,81	54,81	54,98
PSU083	57,36	57,32	57,62	57,36	57,22	57,25	57,46	57,18	57,15	57,05	57,03	56,95
PSU084	58,19	58,21	58,11	57,97	57,91	57,94	57,99	57,89	57,90	57,85	57,85	57,86
PSU085	63,50	63,55	63,48	63,20	63,12	63,20	63,63	63,06	62,65	62,48	62,52	62,62
PSU086	54,93	54,93	55,38	55,41	55,19	55,02	54,96	55,04	55,12	55,06	55,02	54,98
PSU087	56,80	56,85	57,64	57,35	57,04	56,86	56,76	56,88	56,89	56,86	56,80	56,78
PSU088	58,70	58,72	58,61	58,60	58,59	58,62	58,67	58,63	58,62	58,59	58,59	58,59
PSU089	58,35	58,36	58,33	58,27	58,23	58,45	58,38	58,26	58,29	58,25	58,22	58,22
PSU090	62,18	62,35	62,50	61,95	61,75	61,95	62,52	61,82	61,90	61,82	61,85	61,82
PSU091	58,80	58,82	58,81	58,81	58,80	58,80	58,83	58,84	58,82	58,79	58,80	58,82
PST004	86,90	88,29	87,78	87,48	87,06	86,95	89,41	85,78	86,59	86,58	85,96	86,09
PSH010	70,80	70,28	70,18	70,20	70,13	70,13	70,09	70,17	70,25	70,38	70,39	70,35
PSH011	67,27	67,24	67,23	67,21	67,21	67,21	67,26	67,22	67,23	67,24	67,23	67,23
PSH012	71,80	71,27	70,81	70,27	69,95	70,10	70,12	70,13	70,35	70,35	70,39	70,52
PSH013	68,00	68,01	67,93	67,92	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
PSH014	103,59	103,58	103,57	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56
PSH015	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22
PSH022	67,52	67,42	67,34	67,32	67,34	67,36	67,26	67,12	67,24	67,30	67,37	67,26
PSH023	66,97	66,92	66,82	66,80	66,81	66,83	66,86	66,61	66,72	66,76	66,78	66,75
PSH024	67,54	67,43	67,37	67,33	67,35	67,35	67,41	67,05	67,27	67,30	67,41	67,28
PSH025	45,95	45,99	46,14	45,97	45,98	46,17	46,40	46,64	46,68	46,55	46,55	46,39
PSH026	66,65	66,59	66,53	66,55	66,56	66,60	66,55	66,49	66,54	66,55	66,59	66,56
PSH027	66,68	66,60	66,55	66,53	66,55	66,57	66,61	66,52	66,56	66,57	66,57	66,57
PSH028	66,79	66,72	66,67	66,67	66,63	66,59	66,55	66,55	66,58	66,57	66,58	66,57
PSH029	66,68	66,58	66,53	66,51	66,52	66,65	66,68	66,56	66,59	66,61	66,63	66,63
PSH030	65,88	65,85	65,80	65,78	65,81	65,85	65,93	65,85	65,95	65,93	65,92	65,91
PSH031	46,27	46,24	46,35	46,21	46,22	46,43	46,63	46,90	46,94	46,83	46,76	46,62
PSH032	67,19	67,25	67,19	67,24	67,19	67,19	67,22	67,20	67,18	67,19	67,19	67,20
PSH033	67,07	67,02	67,03	67,00	67,01	67,04	67,09	67,08	67,12	67,09	67,07	67,08
PSH034	67,16	67,13	67,11	67,08	67,07	67,09	67,14	67,13	67,14	67,08	67,06	67,08
PSH035	46,30	46,33	46,44	46,30	46,34	46,47	46,69	46,95	47,01	46,88	46,86	46,73
PSH036	70,37	70,39	70,32	70,34	70,31	70,29	70,12	69,89	70,09	70,24	70,27	70,24
PSH037	61,60	61,55	61,50	61,47	61,62	62,07	61,86	62,22	62,30	62,26	62,17	62,02
PSH038	66,30	66,25	66,22	66,25	66,27	66,30	66,26	66,18	66,25	66,25	66,29	66,25
PSH039	61,77	61,70	61,67	61,67	61,82	62,22	62,01	62,52	62,57	62,53	62,45	62,33
PSH040	66,42	66,37	66,34	66,36	66,36	66,41	66,37	66,29	66,37	66,36	66,39	66,37

PSH041	64,76	64,72	64,67	64,69	64,71	64,74	64,81	64,54	64,59	64,57	64,58	64,59
PSH042	67,13	67,07	67,04	67,06	66,99	67,07	67,16	67,18	67,17	67,14	67,14	67,15
PSH043	66,93	66,87	66,85	66,86	66,86	66,92	66,99	66,99	66,98	66,98	66,97	66,96
PSH044	69,27	69,25	69,28	69,27	69,32	69,34	69,32	69,12	69,32	69,45	69,40	69,50
PSH045	72,72	72,65	72,62	72,85	72,91	72,97	72,90	72,51	73,00	73,35	73,23	73,15
PSH046	51,24	51,40	51,42	51,40	51,38	51,47	51,73	51,59	51,64	51,59	51,50	51,33
PSH047	50,84	50,86	50,99	50,92	50,92	51,02	51,12	51,47	51,50	51,42	51,42	51,27
PSH048	59,84	59,87	59,83	59,78	59,86	59,89	59,98	59,90	59,87	59,90	59,89	59,90
PSH049	46,88	46,89	47,02	46,92	46,96	47,15	47,29	47,58	47,56	47,51	47,47	47,32
PSH051	61,65	61,71	61,79	62,04	62,44	62,32	62,79	62,64	62,05	61,59	61,41	61,24
PSH052	62,33	62,31	62,31	62,34	62,43	62,47	62,43	62,30	62,30	62,29	62,28	62,28
PSH053	62,52	62,50	62,45	62,42	62,47	62,49	62,67	62,52	62,48	62,43	62,42	62,38
PSH054	62,88	62,81	62,77	62,79	62,85	62,90	62,96	63,02	62,98	62,90	62,80	62,74
PSH055	62,91	62,90	62,90	62,93	63,02	63,07	63,16	62,92	62,90	62,83	62,81	62,81
PSH056	67,50	67,51	67,47	67,46	67,18	67,30	67,45	67,44	67,45	67,44	67,44	67,46
PSH057	66,74	66,39	66,45	66,50	66,71	66,84	66,98	67,08	67,08	67,09	67,06	67,06
PSH058	61,55	61,48	61,59	61,53	61,42	61,33	61,39	61,06	61,30	61,66	61,75	61,75
PSH059	58,17	58,17	58,28	58,11	58,20	58,27	58,46	58,78	58,79	58,83	58,80	58,69
PSH060	66,79	66,81	66,81	66,80	66,80	66,80	66,80	66,80	66,82	66,83	66,83	66,83
PSH061	63,11	63,11	63,16	63,14	63,18	63,20	63,25	62,93	63,00	63,01	63,00	62,98
PSH062	62,28	62,27	62,25	62,26	62,31	62,35	62,47	62,11	62,15	62,15	62,14	62,15
PSH063	55,26	55,32	55,48	55,37	55,35	55,43	55,51	55,84	55,84	55,79	55,82	55,75
PSH065	61,72	61,72	61,77	61,77	61,81	61,88	61,90	61,61	61,67	61,66	61,65	61,62
PSH067	62,43	62,42	62,42	62,41	62,50	62,55	62,60	62,35	62,39	62,39	62,38	62,39
PSH068	65,42	65,83	65,52	65,37	65,32	65,42	65,46	65,15	65,14	65,05	65,09	65,17
PSH069	64,59	64,42	64,43	64,44	64,56	64,65	64,71	64,51	64,49	64,44	64,40	64,41
PSH070	64,21	64,11	64,11	64,14	64,24	64,36	64,49	64,22	64,19	64,12	64,09	64,11
PSH071	53,00	53,05	53,24	53,14	53,08	53,18	53,22	53,61	53,57	53,53	53,51	53,43
PSH072	67,65	67,67	67,70	67,75	67,80	67,71	67,66	67,59	67,64	67,64	67,84	67,94
PSH073	67,00	67,00	67,00	66,99	66,99	66,99	66,97	66,92	66,92	66,91	66,91	66,92
PSH074	70,92	71,02	71,12	71,15	71,13	71,17	71,10	70,97	70,45	70,47	70,51	70,42
PSH075	73,24	73,29	73,44	73,44	73,33	73,42	73,47	73,11	72,87	72,79	72,81	72,82
PSH077	105,90	106,02	106,01	106,25	106,33	106,37	106,11	106,00	105,97	106,00	105,94	105,81

	jan/00	fev/00	mar/00	abr/00	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00
PSF004	75,87	75,89	75,93	75,97	75,90	75,91	75,89	75,88	75,88	75,89	75,89	75,88
PSF006	119,13	119,43	119,88	119,78	119,43	119,18	119,28	119,28	119,68	119,73	119,78	119,78
PSF007	126,73	127,18	127,73	127,98	127,58	127,38	128,58	129,53	130,73	131,23	130,98	131,13
PSF008	156,78	157,98	159,48	161,56	160,70	166,33	190,46	204,68	207,16	207,11	204,06	200,81
PSF009	102,20	101,50	101,60	101,75	101,68	102,30	109,56	121,13	128,25	123,76	118,50	114,73
PSF010	87,32	87,38	87,46	87,55	87,44	87,42	87,56	87,72	87,77	87,69	87,57	87,52
PSF011	82,93	82,79	82,82	82,83	82,76	82,74	82,72	82,84	83,05	82,96	82,93	82,86
PSF015	63,49	63,47	63,48	63,48	63,45	63,55	63,53	63,89	63,86	63,86	63,93	63,81
PSF016	25,51	25,61	25,63	25,70	25,66	25,57	25,60	25,65	25,98	25,69	25,67	25,64
PSF018	66,06	66,28	66,19	66,13	66,07	66,25	66,25	67,03	66,31	66,39	66,40	66,44
PSF021	107,53	107,31	107,81	109,38	111,83	115,98	138,77	160,53	170,26	170,33	163,56	156,06
PSF022	105,85	105,61	105,36	105,16	105,81	108,01	124,05	139,21	149,03	145,57	136,88	129,13
PSF024	18,67	18,66	18,66	18,68	18,68	18,67	18,67	18,69	18,69	18,68	18,70	18,68
PSF025	61,23	61,27	61,29	61,31	61,32	61,31	61,32	61,31	61,36	61,35	61,36	61,36
PSF026	23,50	23,54	23,58	23,60	23,58	23,59	23,65	23,77	23,95	23,66	23,67	23,62
PSF031	127,21	128,96	130,61	131,61	131,56	131,71	133,11	134,46	137,26	138,46	139,71	139,71
PSF032	104,20	105,35	107,20	107,70	107,60	105,35	104,10	104,95	105,65	105,70	105,70	105,50
PSF033	160,41	161,09	161,84	162,84	165,37	174,09	198,01	211,21	216,46	215,51	212,09	205,21
PSF034	85,44	85,50	86,43	86,55	87,60	93,38	116,36	141,05	157,28	155,30	148,00	136,88
PSF035	39,91	40,26	40,61	40,76	40,45	40,12	39,66	39,57	39,84	39,80	39,66	40,00
PSF036	18,48	18,45	18,46	18,47	18,47	18,51	18,48	18,48	18,50	18,51	18,48	18,49
PSF037	23,09	23,06	23,04	23,06	23,04	23,07	23,08	23,11	23,08	23,11	23,12	23,10
PSF051	71,13	70,19	70,19	70,51	71,13	73,19	76,53	82,11	89,71	90,05	86,24	81,84
PSF052	72,32	73,10	73,23	73,00	73,16	73,23	72,58	74,95	76,43	75,90	72,90	74,48

PSF053	27,66	27,74	27,79	27,86	27,92	27,99	28,53	29,62	29,37	29,24	29,04	28,64
PSF061	93,95	93,48	93,43	93,98	94,63	98,10	106,09	115,80	118,95	118,91	116,68	113,98
PSF062	168,44	167,08	168,01	169,61	174,08	184,88	189,90	193,53	194,06	191,92	187,51	183,01
PSF063	26,88	26,90	27,05	27,15	27,11	27,19	27,63	28,92	28,91	28,88	28,68	28,41
PSF064	28,48	28,73	28,98	28,92	28,98	28,77	28,81	29,23	29,49	29,55	29,42	29,09
PSF065	30,96	30,95	30,98	30,94	30,97	30,98	30,97	30,96	30,97	31,00	31,00	30,99
PSF066	21,71	21,73	21,85	21,85	21,79	21,84	21,87	21,84	21,84	21,98	21,85	21,78
PSF071	144,92	145,77	146,97	147,32	146,52	147,07	149,42	154,07	157,47	157,12	156,47	155,07
PSF072	90,06	90,46	91,21	91,11	90,06	88,96	87,61	88,21	89,06	89,21	89,21	89,96
PSF073	127,61	123,45	123,78	123,28	125,09	133,70	165,71	183,93	184,08	183,31	178,95	172,95
PSF074	83,27	83,40	84,27	84,92	85,53	87,27	97,79	115,80	123,37	121,91	116,20	110,45
PSF075	35,33	35,65	35,93	36,06	35,80	35,53	35,13	35,26	35,48	35,46	35,45	35,61
PSF076	18,95	18,92	18,91	18,95	18,93	18,92	18,94	18,96	18,97	18,97	18,96	18,95
PSF077	19,24	19,22	19,24	19,26	19,23	19,25	19,32	19,29	19,28	19,26	19,27	19,26
PSF101	65,63	65,58	65,58	65,56	65,54	65,56	65,61	65,79	66,15	66,68	67,12	67,38
PSF102	22,21	22,23	22,29	22,33	22,29	22,29	22,33	22,35	22,43	22,45	22,45	22,36
PSF103	67,12	67,20	67,13	67,16	67,15	67,16	67,20	67,24	67,27	67,20	67,25	67,22
PSF104	22,45	22,49	22,49	22,55	22,51	22,53	22,56	22,58	22,66	22,66	22,68	22,59
PSF111	122,42	122,82	123,37	123,82	123,47	123,57	123,22	123,72	123,82	123,82	124,02	123,97
PSF112	120,87	121,22	121,87	121,92	122,02	121,52	121,42	121,62	122,02	121,92	122,12	121,97
PSF113	153,67	152,97	155,75	160,95	158,29	168,20	181,39	190,07	192,45	189,37	185,37	182,02
PSF114	191,98	189,66	192,41	193,78	196,68	203,53	200,88	200,16	199,78	200,78	200,48	201,53
PSF115	87,78	87,82	87,87	87,97	87,85	87,82	87,85	87,93	88,09	88,12	88,09	87,99
PSF116	57,63	57,64	57,66	57,65	57,64	57,69	57,69	57,68	57,68	57,69	57,69	57,72
PSF117	67,87	67,87	67,89	67,89	67,89	67,92	67,91	67,92	67,92	67,94	67,94	67,94
PSF118	61,36	61,41	61,39	61,46	61,44	61,46	61,50	61,50	61,46	61,49	61,44	61,48
PSF119	70,48	70,50	70,50	70,59	70,64	70,66	70,68	70,70	70,73	70,77	70,79	70,76
PSF120	60,35	60,35	60,35	60,39	60,39	60,43	60,46	60,43	60,45	60,46	60,47	60,47
PSF121	120,93	120,93	120,91	121,13	120,98	121,63	122,43	123,88	125,73	125,73	124,58	123,48
PSF122	111,65	112,07	112,47	112,71	112,46	112,32	112,29	112,34	112,68	112,69	112,80	112,75
PSF123	83,21	83,41	83,60	83,75	83,63	83,57	83,55	83,54	83,75	83,76	83,78	83,71
PSF124	105,75	105,76	105,81	105,84	105,82	105,82	105,81	105,80	105,74	105,72	105,72	105,72
PSF126	63,77	63,75	63,72	63,77	63,75	63,74	63,77	63,76	63,76	63,76	63,78	63,80
PSF131	125,66	125,87	125,90	125,92	125,72	125,92	126,19	127,20	126,45	126,32	126,27	126,82
PSF132	123,58	123,98	124,23	124,28	124,38	124,18	124,65	124,98	124,83	124,93	124,78	124,48
PSF133	81,72	81,78	81,81	81,79	81,77	81,80	81,82	81,91	81,98	81,99	81,97	81,96
PSF134	109,63	109,64	109,65	109,62	109,53	109,56	109,65	109,73	109,78	109,83	109,85	109,85
PSF135	81,71	81,79	81,88	81,79	81,37	81,56	81,76	81,70	81,79	81,80	81,83	81,84
PSF136	64,94	64,95	64,94	64,95	64,87	64,85	64,81	64,75	64,71	64,70	64,76	64,79
PSF139	69,38	69,43	69,56	69,63	69,37	69,34	69,38	69,44	69,77	70,07	70,07	70,05
PSU001	44,24	44,51	44,77	44,97	44,55	44,59	45,00	45,11	50,72	45,12	45,06	44,78
PSU002	41,79	42,04	42,18	42,27	41,85	41,86	42,21	42,31	46,66	42,75	42,57	42,23
PSU003	54,24	54,24	54,25	54,25	54,25	54,16	54,29	54,26	54,32	54,29	54,24	54,24
PSU004	46,75	46,88	47,16	47,30	46,90	46,91	47,16	47,45	50,86	48,37	47,80	47,38
PSU005	43,57	43,84	44,10	44,27	43,77	43,80	44,15	44,38	48,80	44,86	44,62	44,30
PSU006	58,35	58,40	58,42	58,43	58,44	58,51	58,63	58,75	59,08	58,87	58,63	58,62
PSU007	42,65	42,90	43,08	43,14	42,76	42,81	43,12	43,31	47,49	43,68	43,47	43,16
PSU008	70,97	70,97	70,98	70,97	70,95	70,93	70,95	70,89	70,92	70,93	70,96	70,93
PSU009	43,00	42,99	43,20	43,32	43,07	43,03	43,31	43,47	44,65	45,63	44,15	43,47
PSU010	41,46	41,75	41,88	41,96	41,53	41,56	41,91	41,97	46,20	42,42	42,25	41,91
PSU011	57,03	57,08	57,01	56,89	56,82	57,01	56,97	57,27	57,31	57,40	57,36	57,19
PSU012	42,68	42,95	43,09	43,22	42,78	42,79	43,14	43,27	47,49	43,73	43,56	43,18
PSU013	42,21	42,51	42,62	42,75	42,30	42,34	42,67	42,79	47,04	43,21	43,03	42,72
PSU014	57,55	57,57	57,58	57,58	57,51	57,59	57,62	57,73	57,78	57,81	57,73	57,69
PSU015	67,89	68,08	68,36	68,38	67,97	68,06	68,51	68,96	70,26	70,23	69,41	69,21
PSU016	67,44	67,77	67,66	67,55	67,51	68,44	67,64	68,71	67,74	68,08	68,24	68,43
PSU018	35,82	35,85	35,98	36,07	35,89	35,84	36,07	36,18	37,05	37,69	36,70	36,22
PSU019	38,17	38,40	38,49	38,61	38,21	38,24	38,52	38,65	41,90	39,02	38,87	38,59
PSU020	57,36	57,37	57,37	57,37	57,39	57,42	57,54	57,56	57,57	57,54	57,43	57,40
PSU021	40,97	41,10	41,31	41,43	41,11	41,16	41,43	41,63	43,79	43,16	41,85	41,55
PSU022	40,41	40,68	40,81	40,90	40,50	40,51	40,83	40,91	44,60	41,35	41,19	40,87
PSU023	57,40	57,41	57,40	57,40	57,43	57,39	57,41	57,42	57,40	57,42	57,41	57,40
PSU024	72,28	72,36	72,58	72,36	72,11	72,49	72,73	73,16	73,17	73,17	72,99	73,02
PSU026	51,10	51,06	51,31	51,66	51,55	51,54	51,83	52,10	52,92	52,83	52,31	51,97
PSU027	46,52	46,69	46,77	47,12	47,01	47,14	47,39	47,53	48,36	47,87	47,71	47,31
PSU028	53,10	53,18	53,13	53,35	53,34	53,36	53,53	53,64	54,27	53,87	53,47	53,39
PSU029	25,78	25,77	25,76	25,87	25,78	25,78	25,79	25,81	25,81	25,81	25,87	25,84
PSU030	48,41	48,36	48,36	48,38	48,40	48,40	48,43	48,42	48,43	48,46	48,50	48,50
PSU031	32,35	32,35	32,37	32,45	32,28	32,37	32,53	32,56	32,86	32,72	32,81	32,68
PSU032	51,06	51,16	51,36	51,52	51,43	51,41	51,45	51,46	52,04	52,00	51,66	51,53

PSU033	48,73	49,03	49,37	49,62	49,29	49,27	49,36	49,43	50,75	50,23	50,03	49,74
PSU034	60,09	60,09	59,82	60,07	60,05	60,00	60,00	59,96	59,95	59,93	59,90	59,84
PSU035	54,63	54,60	54,69	55,12	55,43	55,68	55,84	56,03	56,58	56,34	55,93	55,49
PSU036	51,49	51,94	51,98	51,99	51,53	51,36	51,64	51,46	52,38	52,19	52,10	51,78
PSU037	39,89	40,11	40,20	40,29	40,11	40,03	40,10	40,03	40,59	40,34	40,21	40,14
PSU038	53,93	54,01	54,18	54,10	53,72	53,70	53,75	53,60	54,34	53,98	53,74	53,77
PSU042	54,56	54,86	55,32	55,61	55,03	55,03	55,25	55,14	55,85	56,54	55,93	55,50
PSU043	47,12	47,72	48,00	47,99	47,54	47,45	47,60	47,53	48,97	48,35	48,06	47,70
PSU044	61,61	61,59	61,60	61,63	61,61	61,58	61,59	61,58	61,67	61,78	61,81	61,70
PSU045	27,19	27,26	27,33	27,32	27,25	27,28	27,38	27,42	27,66	27,59	27,55	27,41
PSU046	23,44	23,44	23,44	23,45	23,44	23,44	23,48	23,48	23,55	23,57	23,61	23,56
PSU047	56,90	56,86	56,84	56,77	56,73	56,63	56,60	56,60	56,71	56,86	56,87	56,96
PSU048	27,18	27,21	27,26	27,28	27,23	27,23	27,36	27,39	27,62	27,57	27,50	27,36
PSU049	26,92	26,96	27,01	27,00	26,94	26,97	27,03	27,07	27,33	27,25	27,24	27,12
PSU050	57,27	57,27	57,28	57,29	57,23	57,26	57,27	57,27	57,27	57,28	57,27	57,27
PSU051	60,54	61,25	61,80	60,91	60,70	60,69	60,96	60,79	60,65	60,55	60,45	60,46
PSU054	75,98	75,98	75,99	76,00	76,00	75,99	75,99	75,98	75,98	75,99	76,00	75,97
PSU055	27,61	27,66	27,76	27,78	27,73	27,78	27,87	27,93	28,18	28,09	28,07	27,94
PSU056	31,02	31,01	31,11	31,19	31,10	31,08	31,16	31,30	31,54	31,79	31,78	31,67
PSU057	58,02	58,02	58,03	58,02	58,02	58,04	58,01	58,02	58,03	58,03	58,02	58,02
PSU058	29,47	29,39	29,65	29,72	29,71	29,81	30,04	30,17	30,72	30,50	30,44	30,38
PSU059	32,11	32,22	32,30	32,37	32,16	32,12	32,27	32,47	33,13	32,96	32,99	32,87
PSU060	32,11	32,22	32,30	32,37	32,16	32,12	32,27	32,47	33,13	32,96	32,99	32,87
PSU061	83,45	83,40	83,57	83,37	82,81	84,25	86,15	87,97	91,45	88,67	86,12	85,02
PSU062	58,31	58,29	58,30	58,33	58,26	58,31	58,35	58,35	58,37	58,36	58,39	58,37
PSU063	76,02	76,02	76,02	76,03	76,04	76,03	76,03	76,04	76,03	76,04	76,04	76,03
PSU064	28,19	28,25	28,31	28,33	28,26	28,28	28,35	28,42	28,60	28,54	28,52	28,46
PSU065	35,72	35,67	35,67	35,70	35,66	35,62	35,63	35,65	35,73	35,91	36,02	36,05
PSU066	58,08	58,09	58,10	58,08	58,08	58,08	58,09	58,09	58,08	58,07	58,08	58,09
PSU067	32,46	32,25	32,11	32,36	32,40	32,96	33,18	32,93	34,43	34,23	34,25	34,40
PSU068	44,66	44,62	44,57	44,57	44,54	44,48	44,46	44,43	44,44	44,46	44,47	44,45
PSU069	56,71	56,77	56,81	56,86	56,82	56,79	56,84	56,90	57,02	57,02	56,95	56,95
PSU070	58,23	58,22	58,20	58,23	58,22	58,21	58,24	58,25	58,24	58,27	58,28	58,26
PSU072	45,37	45,39	45,44	45,47	45,28	45,32	45,32	45,39	45,68	45,53	45,50	45,29
PSU073	47,61	47,63	47,72	47,66	47,57	47,58	47,61	47,69	47,92	47,95	47,82	47,73
PSU074	58,80	58,81	58,80	58,82	58,81	58,79	58,82	58,83	58,87	58,85	58,84	58,78
PSU075	55,66	55,60	55,67	55,59	55,52	55,46	55,54	55,73	55,80	55,48	55,40	55,16
PSU076	58,30	58,29	58,31	58,31	58,27	58,27	58,27	58,29	58,31	58,32	58,29	58,24
PSU077	58,80	58,82	58,79	58,83	58,79	58,81	58,82	58,83	58,86	58,83	58,83	58,81
PSU078	71,46	71,60	71,78	72,25	71,52	71,49	71,83	71,72	72,64	72,96	72,74	72,50
PSU079	52,07	52,03	52,20	52,03	51,96	51,76	51,93	52,05	52,23	52,10	51,91	51,79
PSU080	56,82	56,72	56,71	56,73	56,64	56,60	56,73	56,77	56,83	56,90	56,84	56,74
PSU081	58,59	58,60	58,60	58,62	58,58	58,59	58,60	58,63	58,69	58,68	58,64	58,61
PSU082	55,14	55,33	55,54	55,62	55,39	55,44	55,59	55,75	56,12	56,11	55,89	55,87
PSU083	56,81	56,84	56,87	56,84	56,70	56,64	56,79	56,93	57,23	57,07	56,93	56,78
PSU084	57,83	57,82	57,81	57,83	57,80	57,80	57,81	57,86	57,92	57,87	57,84	57,69
PSU085	62,61	62,76	62,76	62,73	62,56	62,53	62,74	62,73	63,40	63,32	62,96	63,00
PSU086	54,89	54,89	54,86	54,86	54,81	54,78	54,75	54,76	54,78	54,86	54,82	54,75
PSU087	56,75	56,68	56,65	56,64	56,60	56,55	56,61	56,65	56,70	56,77	56,74	56,68
PSU088	58,57	58,58	58,59	58,59	58,56	58,58	58,59	58,61	58,66	58,66	58,62	58,57
PSU089	58,13	58,17	58,15	58,07	58,10	58,09	58,14	58,22	58,37	58,26	58,19	58,13
PSU090	61,75	61,85	62,05	62,08	61,95	61,85	61,69	62,00	62,45	62,35	62,00	62,00
PSU091	58,80	58,82	58,79	58,82	58,81	58,83	58,82	58,84	58,82	58,81	58,82	58,82
PST004	85,29	86,39	86,59	87,09	85,40	85,49	86,45	86,46	89,25	88,81	87,93	88,18
PSH010	70,27	70,20	70,25	70,18	70,11	70,15	70,15	70,68	71,88	72,03	71,78	71,75
PSH011	67,22	67,23	67,22	67,22	67,21	67,22	67,22	67,23	67,28	67,26	67,27	67,27
PSH012	70,47	70,57	70,60	70,35	70,27	70,25	70,22	70,45	71,07	71,23	71,20	71,22
PSH013	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,06	68,00
PSH014	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,57	104,20	104,22	104,07	103,94
PSH015	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	97,24	97,34	96,84	96,68
PSH022	67,22	67,30	67,29	67,29	67,27	67,35	67,39	67,57	67,80	67,83	67,77	67,76
PSH023	66,69	66,77	66,79	66,75	66,78	66,83	66,90	67,03	67,29	67,30	67,30	67,26
PSH024	67,17	67,28	67,30	67,31	67,28	67,34	67,41	67,59	67,91	67,95	67,85	67,84
PSH025	46,26	46,28	46,30	46,29	46,12	46,19	46,19	46,49	46,62	46,48	46,37	46,28
PSH026	66,52	66,55	66,54	66,55	66,56	66,58	66,59	66,67	66,85	66,84	66,80	66,79
PSH027	66,52	66,55	66,56	66,54	66,54	66,56	66,58	66,65	66,80	66,75	66,74	66,74
PSH028	66,54	66,55	66,54	66,54	66,54	66,55	66,56	66,64	66,76	66,74	66,70	66,69
PSH029	66,58	66,60	66,60	66,55	66,58	66,61	66,63	66,69	66,84	66,80	66,81	66,79
PSH030	65,86	65,87	65,88	65,88	65,89	65,93	65,93	66,00	66,12	66,15	66,12	66,04
PSH031	46,55	46,60	46,56	46,53	46,39	46,48	46,47	46,57	46,86	46,73	46,82	46,57

PSH032	67,20	67,20	67,21	67,19	67,20	67,22	67,22	67,21	67,21	67,22	67,22	67,20
PSH033	67,06	67,06	67,08	67,08	67,05	67,06	67,07	67,08	67,09	67,01	67,06	67,05
PSH034	67,04	67,03	67,03	66,79	66,96	66,98	67,05	67,03	67,03	66,94	67,02	67,03
PSH035	46,58	46,60	46,66	46,63	46,52	46,49	46,51	46,56	46,81	46,88	46,76	46,67
PSH036	70,19	70,22	70,27	70,19	70,13	70,12	70,11	70,29	70,59	70,41	70,42	70,54
PSH037	61,97	61,94	61,96	61,94	61,89	61,93	61,85	61,90	61,85	61,69	61,62	61,55
PSH038	66,22	66,25	66,25	66,27	66,28	66,30	66,31	66,42	66,54	66,53	66,49	66,50
PSH039	62,26	62,23	62,24	62,24	62,16	62,10	62,12	62,16	62,11	61,95	61,91	61,80
PSH040	66,32	66,34	66,36	66,38	66,39	66,41	66,40	66,54	66,65	66,65	66,61	66,61
PSH041	64,55	64,54	64,56	64,57	64,56	64,59	64,60	64,63	64,72	64,65	64,63	64,61
PSH042	67,14	67,15	67,13	67,13	67,12	67,12	67,14	67,13	67,17	67,11	67,17	67,16
PSH043	66,95	66,93	66,93	66,78	66,92	66,92	66,87	66,92	66,96	66,83	66,92	66,91
PSH044	69,44	69,45	69,20	69,15	69,18	69,05	69,04	69,40	69,27	69,32	69,55	69,77
PSH045	73,07	73,05	73,12	73,17	73,23	73,10	73,39	74,27	74,67	74,51	74,85	75,15
PSH046	51,16	51,20	51,34	51,36	51,24	51,26	51,32	51,28	51,51	51,61	51,49	51,35
PSH047	51,15	51,12	51,20	51,19	51,13	51,08	51,11	51,26	51,48	51,41	51,23	51,12
PSH048	60,12	59,89	59,84	59,83	59,68	59,78	59,53	59,49	59,40	59,39	59,43	59,42
PSH049	47,19	47,22	47,28	47,24	47,08	47,15	47,15	47,31	47,57	47,44	47,34	47,24
PSH051	61,10	61,09	61,18	61,20	61,55	61,56	61,51	61,57	61,49	61,14	60,88	60,63
PSH052	62,24	62,23	62,23	62,25	62,25	62,27	62,25	62,26	62,29	62,20	62,18	62,16
PSH053	62,36	62,32	62,32	62,32	62,31	62,34	62,33	62,34	62,36	62,36	62,33	62,19
PSH054	62,67	62,66	62,64	62,66	62,66	62,69	62,67	62,70	62,71	62,67	62,65	62,58
PSH055	62,75	62,74	62,78	62,80	62,80	62,85	62,83	62,86	62,89	62,79	62,76	62,67
PSH056	67,45	67,45	67,47	67,48	67,44	67,44	67,44	67,64	67,51	67,51	67,52	67,49
PSH057	67,03	66,98	66,93	66,92	66,90	66,91	66,91	66,88	66,98	67,09	67,07	66,95
PSH058	61,64	61,33	61,69	62,11	62,10	61,90	61,73	61,63	61,75	61,71	61,35	61,46
PSH059	58,45	58,40	58,50	58,49	58,46	58,34	58,49	58,60	58,84	58,76	58,56	58,48
PSH060	66,79	66,81	66,81	66,82	66,82	66,81	66,82	66,89	66,93	66,90	66,89	66,87
PSH061	62,93	62,94	62,96	62,95	62,98	62,98	63,01	63,08	63,14	63,05	63,01	62,99
PSH062	62,08	62,05	62,10	61,93	62,10	62,12	62,14	62,18	62,18	62,12	62,11	62,06
PSH063	55,65	55,58	55,67	55,65	55,67	55,57	55,64	55,34	56,00	55,88	55,73	55,70
PSH065	61,56	61,56	61,60	61,61	61,61	61,61	61,60	61,57	61,70	61,64	61,62	61,61
PSH067	62,33	62,33	62,34	62,34	62,34	62,34	62,36	62,36	62,39	62,29	62,27	62,27
PSH068	65,14	65,12	65,18	65,19	65,13	65,14	65,21	65,20	65,44	65,41	65,27	65,18
PSH069	64,38	64,41	64,40	64,43	64,42	64,43	64,45	64,44	64,49	63,94	64,48	64,44
PSH070	64,09	64,10	64,11	64,14	64,12	64,13	64,15	64,15	64,18	63,66	64,17	64,13
PSH071	53,34	53,31	53,36	53,33	53,28	53,05	53,13	53,27	53,45	53,38	53,20	53,07
PSH072	67,92	67,86	67,82	67,81	67,76	67,81	67,81	67,87	68,06	67,97	67,95	67,95
PSH073	66,91	66,92	66,90	66,91	66,91	66,91	66,92	66,93	66,94	66,93	66,94	66,91
PSH074	70,33	70,45	70,57	70,60	70,43	70,55	70,57	70,57	70,82	70,87	70,47	70,60
PSH075	72,71	72,84	72,87	72,82	72,75	72,79	72,81	72,87	73,07	73,13	72,89	72,89
PSH077	105,71	105,71	105,93	106,04	106,13	106,24	106,36	106,76	106,83	106,66	106,60	106,48

	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01	ago/01	set/01	out/01	nov/01	dez/01
PSF004	75,88	75,90	75,90	75,97	75,89	75,89	75,93	75,92	75,92	75,93	75,80	75,91
PSF006	119,78	120,13	119,73	119,88	119,43	119,28	119,28	119,18	119,13	119,28	119,28	118,88
PSF007	130,88	130,68	130,23	129,58	128,68	128,23	129,08	129,48	129,73	129,63	129,68	129,53
PSF008	197,52	193,58	184,06	181,26	177,28	183,76	199,48	201,73	203,06	204,92	199,61	194,48
PSF009	111,20	109,40	106,40	105,66	105,60	106,95	114,82	119,70	122,15	121,86	116,58	111,83
PSF010	87,52	87,47	87,37	87,44	87,47	87,45	87,38	87,35	87,42	87,44	87,30	87,16
PSF011	82,81	82,71	82,64	82,70	82,79	82,75	82,71	82,67	82,67	82,74	82,68	82,65
PSF015	63,81	63,86	63,77	63,75	63,77	64,12	64,19	64,17	64,03	64,06	63,90	63,96
PSF016	25,69	25,97	25,56	25,68	25,55	25,60	25,63	25,63	25,62	25,72	25,65	25,67
PSF018	66,35	66,38	66,44	66,41	66,45	67,33	67,07	67,15	66,55	66,59	66,33	66,38
PSF021	148,43	140,36	131,23	128,17	130,98	136,88	156,83	159,73	158,43	157,87	150,11	141,10
PSF022	122,73	117,33	112,28	109,79	110,81	112,86	124,89	131,51	132,66	130,63	123,38	118,38
PSF024	18,71	18,70	18,71	18,78	18,74	18,75	18,75	18,75	18,76	18,77	18,81	18,73
PSF025	61,50	61,37	61,37	61,36	61,38	61,33	61,32	61,32	61,31	61,35	61,36	61,38
PSF026	23,68	23,92	23,68	23,75	23,68	23,71	23,75	23,81	23,76	23,77	23,75	23,74
PSF031	139,61	139,61	138,71	138,31	137,61	138,11	139,21	137,01	137,01	135,71	134,46	132,46
PSF032	105,45	106,20	105,35	105,37	104,90	104,45	104,40	104,00	103,85	104,30	104,20	104,45
PSF033	199,71	192,04	185,16	180,01	183,01	188,71	207,07	209,46	207,16	209,21	206,59	202,21
PSF034	124,78	114,93	105,05	101,08	103,90	109,20	130,50	129,50	129,88	128,50	121,50	114,33
PSF035	39,76	39,95	39,71	39,81	39,64	39,55	39,56	39,28	39,29	39,48	39,34	39,33
PSF036	18,52	18,50	18,52	18,55	18,54	18,52	18,53	18,46	18,53	18,55	18,50	18,52
PSF037	23,13	23,13	23,14	23,16	23,08	23,16	23,18	23,01	23,19	23,19	23,09	23,14
PSF051	78,75	76,11	73,39	71,87	72,49	74,44	81,45	81,94	81,61	81,63	80,81	78,74

PSF052	74,92	74,90	75,40	76,24	75,60	75,35	75,80	75,50	77,33	72,48	63,65	61,95
PSF053	28,32	28,29	28,12	28,01	28,19	28,34	28,83	28,81	28,79	28,85	28,59	28,28
PSF061	111,05	107,78	103,30	101,61	101,38	104,25	117,97	120,40	120,53	119,77	111,65	108,52
PSF062	179,38	176,21	173,31	173,08	174,01	177,51	188,54	188,41	187,08	185,08	176,88	170,81
PSF063	28,05	27,79	27,62	27,53	27,62	27,79	28,60	28,73	28,70	28,52	28,11	27,62
PSF064	29,28	29,05	28,81	28,97	29,01	29,03	29,53	29,28	29,42	29,35	29,04	29,04
PSF065	31,00	31,03	31,01	30,99	31,03	31,01	31,02	31,00	30,99	31,00	30,98	30,95
PSF066	21,77	21,88	21,92	21,79	21,79	21,76	21,75	21,72	21,73	21,78	21,75	21,76
PSF071	153,82	153,07	151,22	150,64	150,17	151,07	154,07	155,07	156,32	156,57	154,82	152,07
PSF072	90,21	90,46	89,76	89,64	89,31	88,46	88,21	87,71	87,46	88,21	87,96	88,21
PSF073	162,07	154,95	144,45	140,05	142,00	148,60	164,51	167,20	166,83	166,39	158,45	149,12
PSF074	105,01	99,74	94,22	92,33	93,65	96,82	111,25	115,32	116,27	115,87	107,37	101,07
PSF075	35,54	35,58	35,46	35,54	35,48	35,37	35,50	35,38	35,46	35,58	35,53	35,48
PSF076	18,87	19,00	18,98	18,90	19,01	19,00	19,00	19,04	18,91	19,06	19,04	19,03
PSF077	19,27	19,30	19,29	19,21	19,32	19,32	19,30	19,30	19,32	19,33	19,32	19,32
PSF101	67,58	67,67	67,69	67,60	67,56	67,50	67,61	67,78	67,99	68,24	68,36	68,40
PSF102	22,50	22,54	22,51	22,44	22,50	22,52	22,52	22,50	22,51	22,53	22,55	22,53
PSF103	67,23	67,14	67,04	67,14	67,14	67,13	67,04	67,00	66,93	66,97	66,97	66,89
PSF104	22,71	22,74	22,72	22,66	22,68	22,69	22,68	22,68	22,70	22,70	22,71	22,74
PSF111	124,02	123,92	123,57	123,25	123,37	123,22	123,47	122,82	122,82	123,17	122,82	122,57
PSF112	121,92	121,87	121,62	121,57	121,22	121,17	121,52	121,32	121,27	121,77	121,62	121,22
PSF113	178,00	177,57	171,77	171,15	169,37	172,90	187,93	188,75	191,45	192,45	184,50	176,87
PSF114	202,02	201,68	201,33	202,10	200,16	201,21	201,92	201,83	206,03	207,74	207,66	205,45
PSF115	87,96	87,95	87,83	87,81	87,71	87,65	87,68	87,64	87,72	87,84	87,74	87,61
PSF116	57,72	57,75	57,71	57,75	57,76	57,79	57,79	57,68	57,80	57,84	57,83	57,85
PSF117	67,94	67,96	67,94	67,86	67,95	67,98	67,97	67,97	68,00	67,98	68,01	67,94
PSF118	61,48	61,48	61,48	61,43	61,52	61,50	61,62	61,59	61,59	61,58	61,60	61,61
PSF119	70,72	70,72	70,73	70,65	70,87	70,89	70,80	70,78	70,79	70,80	70,81	70,77
PSF120	60,46	60,49	60,49	60,44	60,57	60,63	60,70	60,67	60,65	60,64	60,66	60,64
PSF121	123,03	122,63	122,08	121,90	121,68	122,08	123,58	124,18	124,58	124,53	123,63	123,03
PSF122	112,87	112,86	112,59	112,57	112,40	112,33	112,38	112,10	112,21	112,36	112,23	111,95
PSF123	83,76	83,78	83,67	83,54	83,52	83,49	84,02	83,59	83,73	83,70	83,60	83,40
PSF124	105,80	105,87	105,88	105,81	105,82	105,81	105,82	105,78	105,77	105,78	105,72	105,71
PSF126	63,80	63,78	63,81	63,77	63,97	64,05	64,06	64,01	63,95	63,98	63,94	63,94
PSF131	126,84	126,49	126,65	126,54	126,65	126,42	125,82	125,70	125,65	126,18	126,47	125,89
PSF132	124,78	124,93	125,18	125,25	125,18	125,18	125,13	125,13	125,08	124,68	124,83	124,68
PSF133	81,95	81,98	81,90	81,83	81,91	81,88	81,94	81,92	81,95	81,98	81,94	81,93
PSF134	109,80	109,84	109,84	109,78	109,77	109,77	109,95	109,93	109,92	109,68	109,57	109,48
PSF135	81,90	82,00	82,14	82,21	82,06	82,04	82,22	82,27	82,26	82,27	82,26	82,27
PSF136	64,86	64,69	64,70	64,67	64,75	64,69	64,17	64,18	64,23	64,28	64,30	64,28
PSF139	70,12	70,24	70,05	69,73	69,58	69,46	69,26	69,23	69,17	69,33	69,34	69,42
PSU001	44,79	46,06	44,43	44,73	44,53	44,17	43,77	43,81	43,63	43,98	43,44	43,65
PSU002	42,22	44,71	41,77	41,85	41,60	41,47	41,33	41,37	41,26	41,67	41,24	41,35
PSU003	54,23	54,25	54,26	54,25	54,25	54,23	54,25	54,23	54,25	54,25	54,23	54,26
PSU004	47,27	49,06	46,91	46,81	46,51	46,26	46,16	46,17	46,06	46,65	46,32	46,48
PSU005	44,22	46,56	43,76	43,89	43,62	43,51	43,25	43,24	43,16	43,62	43,45	43,35
PSU006	58,59	58,68	58,52	58,52	58,49	58,51	58,60	58,66	58,56	58,63	58,52	58,55
PSU007	43,16	46,02	42,72	42,81	42,54	42,48	42,22	42,39	42,14	42,69	42,15	42,32
PSU008	70,92	70,92	70,92	70,90	70,90	70,84	70,82	70,82	70,81	70,82	70,81	70,81
PSU009	43,30	43,93	44,86	43,08	42,81	42,63	42,51	42,43	42,29	42,82	42,54	42,54
PSU010	41,90	44,30	41,46	41,54	41,26	41,15	41,03	41,08	40,93	41,36	40,93	41,06
PSU011	57,17	57,05	57,00	56,87	56,95	57,28	57,36	57,36	57,23	57,07	56,86	56,79
PSU012	43,18	45,71	42,72	42,81	42,55	42,47	42,25	42,23	42,18	42,53	42,13	42,28
PSU013	42,69	45,33	42,25	42,43	42,08	41,95	41,81	41,83	41,71	42,16	41,71	41,85
PSU014	57,65	57,69	57,65	57,59	57,64	57,58	57,66	57,69	57,67	57,69	57,60	57,60
PSU015	69,23	69,96	69,08	69,03	68,58	68,38	68,71	68,97	68,88	68,99	68,23	68,53
PSU016	68,42	67,82	67,80	67,86	68,70	70,57	69,50	69,56	68,30	68,75	67,66	67,57
PSU018	36,14	36,60	37,20	35,96	35,80	35,68	35,56	35,51	35,41	35,83	35,58	35,59
PSU019	38,56	40,50	38,21	38,28	38,05	37,97	37,80	37,82	37,75	38,11	37,70	37,83
PSU020	57,37	57,39	57,39	57,39	57,39	57,41	57,48	57,55	57,57	57,43	57,40	57,41
PSU021	41,59	42,43	41,96	41,07	40,96	40,79	40,73	40,64	40,53	41,01	40,48	40,76
PSU022	40,84	43,04	40,45	40,49	40,28	40,14	39,98	40,03	39,93	40,31	39,88	40,03
PSU023	57,39	57,39	57,41	57,42	57,41	57,41	57,42	57,40	57,41	57,40	57,42	57,43
PSU024	72,76	72,85	72,75	72,69	72,69	72,83	73,11	73,07	73,07	72,94	72,73	72,48
PSU026	51,94	52,27	52,02	51,53	51,32	51,14	51,16	51,02	50,96	51,38	51,02	51,24
PSU027	47,27	47,70	47,09	46,99	46,78	46,63	46,73	46,69	46,73	46,84	46,56	46,60
PSU028	52,77	53,24	52,54	52,05	52,05	51,95	52,04	51,88	51,91	52,21	52,11	52,27
PSU029	25,83	25,91	25,91	25,86	25,87	25,88	25,73	25,68	25,74	25,82	25,69	25,71
PSU030	48,45	48,52	48,54	48,55	48,55	48,54	48,51	48,47	48,49	48,50	48,46	48,50
PSU031	32,65	32,86	32,56	32,48	32,30	32,17	32,13	32,05	32,01	32,10	31,98	32,08

PSU032	51,61	51,90	51,49	51,57	51,44	51,23	51,12	50,96	50,89	51,13	51,09	51,27
PSU033	50,00	50,74	49,93	49,85	49,68	49,39	49,23	49,13	49,12	49,55	49,34	49,53
PSU034	59,81	59,79	59,77	59,73	59,71	59,68	59,63	59,59	59,55	59,49	59,49	59,52
PSU035	55,58	55,87	55,32	55,25	55,52	55,33	55,47	55,31	55,40	55,67	55,45	55,23
PSU036	51,87	52,57	52,12	51,92	51,49	51,25	51,16	51,31	51,23	51,61	51,50	51,52
PSU037	40,31	40,68	40,31	40,23	40,13	39,92	39,63	39,62	39,56	39,74	39,60	39,66
PSU038	53,97	54,17	53,82	53,82	53,68	53,35	53,65	53,42	53,34	53,94	53,72	53,91
PSU042	55,57	56,24	56,37	55,44	55,05	54,74	54,44	54,46	54,27	55,11	54,85	55,23
PSU043	47,86	48,86	47,85	47,75	47,37	46,97	46,85	46,91	46,83	47,29	46,98	47,18
PSU044	61,68	61,72	61,76	61,72	61,59	61,60	61,43	61,26	61,17	61,06	60,97	60,69
PSU045	27,50	27,59	27,52	27,51	27,58	27,42	27,31	27,33	27,26	27,49	27,35	27,39
PSU046	23,54	23,60	23,59	23,57	23,57	23,55	23,41	23,39	23,38	23,48	23,37	23,37
PSU047	56,95	56,94	56,91	56,86	56,81	56,75	56,70	56,58	56,58	56,69	56,77	56,78
PSU048	27,42	27,60	27,50	27,43	27,53	27,41	27,27	27,24	27,24	27,42	27,30	27,32
PSU049	27,15	27,31	27,20	27,13	27,19	27,09	26,98	26,99	26,97	27,15	27,01	27,02
PSU050	57,27	57,27	57,28	57,26	57,27	57,26	57,32	57,27	57,24	57,27	57,25	57,30
PSU051	60,53	60,70	60,87	61,64	61,50	61,81	60,81	60,99	60,71	61,86	60,73	60,62
PSU054	75,99	75,99	75,99	75,99	75,97	75,98	75,96	75,94	75,97	75,97	75,96	75,98
PSU055	28,01	28,15	28,06	28,08	28,24	28,04	27,97	27,98	27,99	28,19	28,12	28,12
PSU056	31,69	31,83	31,91	31,80	31,60	31,51	31,28	31,30	31,20	31,39	31,28	31,32
PSU057	58,04	58,02	58,03	58,03	58,03	58,03	58,03	58,02	58,02	58,03	58,03	58,03
PSU058	30,53	30,67	30,59	30,54	30,50	30,24	30,32	30,39	30,27	30,48	30,20	30,24
PSU059	32,92	33,18	32,98	32,77	32,89	32,57	32,46	32,45	32,41	32,63	32,41	32,45
PSU060	56,18	56,18	56,18	56,17	56,16	56,17	56,20	56,20	56,21	56,23	56,21	56,25
PSU061	84,23	85,67	83,22	82,33	82,22	82,25	84,17	84,25	83,92	85,19	83,75	84,00
PSU062	58,37	58,41	58,40	58,39	58,42	58,40	58,35	58,32	58,32	58,35	58,30	58,30
PSU063	76,03	76,02	76,07	76,02	76,04	76,02	76,04	76,03	76,03	76,03	76,01	76,03
PSU064	28,44	28,60	28,71	28,54	28,65	28,42	28,35	28,39	28,38	28,54	28,49	28,48
PSU065	36,10	36,20	36,28	36,25	36,24	36,16	36,03	35,97	35,90	35,90	35,89	35,83
PSU066	58,08	58,09	58,08	58,08	58,09	58,08	58,09	58,08	58,08	58,09	58,09	58,08
PSU067	34,40	34,68	34,60	34,49	34,45	34,28	34,31	34,04	34,03	34,78	34,16	34,43
PSU068	44,45	44,48	44,52	44,52	44,51	44,47	44,40	44,37	44,32	44,33	44,29	44,28
PSU069	56,95	57,05	56,97	56,93	56,90	56,90	56,92	56,84	56,80	56,88	56,78	56,86
PSU070	58,24	58,29	58,31	58,30	58,32	58,27	58,23	58,22	58,21	58,25	58,20	58,19
PSU072	45,36	45,48	45,32	45,31	45,20	45,12	45,24	45,40	45,42	45,46	45,47	45,48
PSU073	47,73	47,87	47,81	47,69	47,67	47,55	47,65	47,77	47,83	47,90	47,92	47,99
PSU074	58,83	58,85	58,83	58,80	58,80	58,79	58,80	58,80	58,81	58,81	58,82	58,81
PSU075	55,20	55,19	55,08	55,34	55,24	55,37	55,42	55,47	55,43	55,48	55,78	55,61
PSU076	58,22	58,25	58,28	58,26	58,25	58,22	58,26	58,28	58,29	58,31	58,31	58,33
PSU077	58,85	58,85	58,85	58,81	58,80	58,78	58,79	58,80	58,79	58,81	58,82	58,81
PSU078	72,37	72,82	72,52	72,28	71,87	71,66	71,43	71,30	71,07	71,40	71,29	71,47
PSU079	51,81	51,75	51,47	51,38	51,27	51,18	51,38	51,60	51,66	51,70	51,61	51,59
PSU080	56,68	56,70	56,65	56,45	56,35	56,29	56,42	56,55	56,57	56,65	56,61	56,63
PSU081	58,63	58,66	58,61	58,59	58,56	58,56	58,57	58,57	58,59	58,59	58,60	58,61
PSU082	55,95	56,14	55,86	55,76	55,69	55,67	55,94	56,05	56,22	56,30	56,26	56,31
PSU083	56,84	56,89	56,62	56,49	56,31	56,27	56,49	56,55	56,60	56,69	56,63	56,68
PSU084	57,82	57,86	57,79	57,79	57,71	57,71	57,75	57,77	57,78	57,77	57,83	57,82
PSU085	63,02	63,07	62,30	62,44	62,69	62,16	62,41	62,53	62,47	62,47	62,61	62,63
PSU086	54,65	54,64	54,59	54,48	54,39	54,27	54,28	54,32	54,40	54,48	54,49	54,50
PSU087	56,59	56,59	56,57	56,44	56,39	56,50	56,62	56,51	56,84	56,90	56,66	56,56
PSU088	58,60	58,63	58,55	58,56	58,53	58,53	58,56	58,56	58,57	58,58	58,57	58,59
PSU089	58,16	58,21	58,09	58,08	58,01	57,93	58,02	58,04	58,07	58,03	58,07	58,10
PSU090	62,10	62,40	62,10	61,95	61,80	61,60	61,65	61,71	61,85	62,17	62,02	61,90
PSU091	58,81	58,81	58,82	58,82	58,82	58,82	58,81	58,82	58,82	58,81	58,74	58,82
PST004	86,93	88,41	86,72	86,73	85,24	84,70	83,87	83,93	84,08	85,02	84,85	85,45
PSH010	71,43	71,58	70,88	70,29	70,20	70,03	69,87	69,88	69,90	69,91	69,95	69,92
PSH011	67,26	67,27	67,25	67,23	67,24	67,27	67,22	67,23	67,23	67,23	67,23	67,23
PSH012	71,21	71,34	71,25	70,79	70,42	70,40	70,27	70,22	70,15	70,25	70,17	70,27
PSH013	68,00	68,00	67,92	68,01	68,01	68,01	68,00	68,00	68,01	68,01	68,00	68,00
PSH014	103,79	103,77	103,60	103,60	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56	103,56
PSH015	96,52	96,24	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22	96,22
PSH022	67,72	67,72	67,66	67,60	67,52	67,52	67,61	67,59	67,61	67,60	67,60	67,59
PSH023	67,23	67,21	67,23	67,09	67,05	67,04	67,16	67,17	67,22	67,19	67,17	67,19
PSH024	67,76	67,78	67,75	67,63	67,54	67,51	67,61	67,64	67,65	67,68	67,68	67,65
PSH025	46,32	46,45	46,29	46,29	46,20	46,16	46,11	46,31	46,33	46,37	46,40	46,37
PSH026	66,84	66,81	66,81	66,79	66,84	66,88	66,95	66,93	66,94	66,93	66,92	66,93
PSH027	66,80	66,73	66,74	66,70	66,73	66,74	66,92	66,90	66,92	66,86	66,88	66,87
PSH028	66,71	66,67	66,66	66,64	66,65	66,73	66,86	66,84	66,82	66,81	66,79	66,80
PSH029	66,83	66,77	66,80	66,76	66,79	66,79	66,86	66,87	66,87	66,85	66,86	66,89
PSH030	66,01	65,92	65,95	65,92	65,90	65,88	66,07	66,08	66,10	66,08	66,04	66,06

PSH031	46,56	46,74	46,48	46,56	46,44	46,42	46,47	46,60	46,58	46,66	46,63	46,59
PSH032	67,22	67,21	67,23	67,22	67,23	67,23	67,21	67,22	67,21	67,22	67,23	67,20
PSH033	67,10	67,03	67,06	67,02	67,01	67,07	67,16	67,18	67,19	67,16	67,16	67,16
PSH034	67,14	67,04	67,02	67,01	66,97	66,99	67,28	67,28	67,32	67,30	67,30	67,32
PSH035	46,64	46,78	46,56	46,58	46,54	46,47	46,44	46,62	46,67	46,68	46,75	46,67
PSH036	70,54	70,56	70,27	70,43	70,42	70,26	70,29	70,30	70,34	70,37	70,27	70,19
PSH037	61,40	61,38	61,32	61,34	61,44	61,49	61,59	61,60	61,59	61,47	61,36	61,32
PSH038	66,58	66,54	66,58	66,62	66,69	66,72	66,70	66,66	66,67	66,67	66,67	66,69
PSH039	61,71	61,71	61,67	61,63	61,67	61,71	61,87	61,88	61,86	61,73	61,62	61,57
PSH040	66,71	66,65	66,69	66,73	66,84	66,83	66,83	66,77	66,76	66,79	66,79	66,81
PSH041	64,64	64,59	64,59	64,58	64,64	64,64	64,78	64,77	64,77	64,72	64,67	64,71
PSH042	67,17	67,13	67,16	67,16	67,13	67,17	67,31	67,30	67,29	67,31	67,27	67,27
PSH043	66,99	66,90	66,93	66,86	66,90	66,93	67,25	67,23	67,28	67,21	67,14	67,17
PSH044	69,67	69,65	69,60	69,48	69,52	69,50	69,32	69,42	69,42	69,40	69,37	69,29
PSH045	74,95	74,57	73,95	74,05	74,02	74,10	74,35	74,47	74,77	74,83	74,97	74,57
PSH046	51,25	51,44	51,39	51,29	51,22	51,15	51,08	51,10	51,14	51,22	51,23	51,22
PSH047	51,13	51,22	51,01	50,92	50,88	50,80	50,90	51,01	51,10	51,19	51,17	51,14
PSH048	59,41	59,42	59,41	59,40	59,47	59,39	59,22	59,24	59,20	59,22	59,16	59,17
PSH049	47,24	47,35	47,19	47,18	47,10	47,09	47,04	47,22	47,22	47,27	47,27	47,26
PSH051	60,71	60,34	60,27	60,38	60,84	61,11	61,24	61,20	61,04	61,06	60,79	60,90
PSH052	62,19	62,17	62,16	62,17	62,23	62,26	62,35	62,38	62,37	62,35	62,30	62,31
PSH053	62,31	62,24	62,24	62,23	62,23	62,25	62,30	62,37	62,38	62,39	62,41	62,39
PSH054	62,59	62,56	62,58	62,55	62,58	62,63	62,68	62,74	62,76	62,74	62,74	62,69
PSH055	62,76	62,67	62,66	62,68	62,74	62,79	62,87	62,90	62,81	62,85	62,80	62,80
PSH056	67,49	67,47	67,47	67,48	67,45	67,46	67,42	67,43	67,43	67,43	67,43	67,44
PSH057	67,04	66,98	67,10	67,04	67,03	67,09	67,09	67,11	67,12	67,12	67,06	67,10
PSH058	61,86	63,62	64,20	64,10	63,60	63,25	63,61	63,84	63,76	63,79	63,77	63,64
PSH059	58,53	58,47	58,29	58,23	58,19	58,11	58,30	58,47	58,59	58,48	58,63	58,61
PSH060	66,86	66,87	66,86	66,86	66,85	66,81	66,82	66,85	66,85	66,86	66,85	66,83
PSH061	63,05	63,01	62,98	62,96	63,00	62,99	63,12	63,15	63,18	63,15	63,15	63,14
PSH062	62,16	62,08	62,10	62,11	62,15	62,15	62,28	62,32	62,32	62,28	62,26	62,26
PSH063	55,65	55,62	55,44	55,35	55,32	55,26	55,41	55,59	55,73	55,85	55,76	55,72
PSH065	61,65	61,59	61,59	61,58	61,63	61,63	61,71	61,75	61,76	61,75	61,72	61,72
PSH067	62,30	62,25	62,29	62,26	62,30	62,33	62,44	62,47	62,47	62,43	62,40	62,42
PSH068	65,07	65,18	65,18	65,11	65,04	64,92	64,77	64,79	64,76	64,76	64,71	64,65
PSH069	64,48	64,41	64,48	64,41	64,43	64,45	64,48	64,54	64,56	64,54	64,52	64,55
PSH070	64,17	64,12	64,16	64,12	64,13	64,17	64,19	64,25	64,28	64,26	64,22	64,27
PSH071	52,92	53,02	52,77	52,68	52,62	52,55	52,66	52,83	52,93	52,96	52,86	52,84
PSH072	67,94	67,83	67,73	67,71	67,69	67,33	66,93	67,18	67,33	67,49	67,61	67,66
PSH073	66,94	66,92	66,93	66,93	66,92	66,95	66,94	66,96	66,95	66,95	66,95	66,95
PSH074	70,42	70,80	70,45	70,57	70,50	70,40	70,49	70,55	70,55	70,59	70,57	70,60
PSH075	72,86	73,09	72,97	72,77	72,72	72,72	72,71	72,72	72,77	72,79	72,74	72,82
PSH077	106,38	106,43	106,40	106,36	106,45	106,56	106,68	106,52	106,46	106,37	106,34	106,21